



**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MİKRO DESENLİ GAZLI DETEKTÖRLERİN İNCELENMESİ

Tuğba ÖZDEMİR

**Prof.Dr. İlhan TAPAN
(Danışman)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

BURSA-2015

TEZ ONAYI

Tuğba ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “**MİKRO DESENLİ GAZLI DETEKTÖRLERİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İlhan TAPAN
U. Ü. Fen Edebiyat Fakültesi,
Fizik Anabilim Dalı

Üye : Y.Doç. Dr. Cengiz AKAY
U Ü. Fen Edebiyat Fakültesi,
Fizik Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Faruk DEMİR
Bursa Teknik Üniversitesi,
Doğa Bilimleri, Mimarlık Ve Mühendislik Fakültesi
Metalurji Ve Malzeme Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitüsü Müdürü

08/09/2015

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/09/2015

Tuğba ÖZDEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİKRO DESENLİ GAZLI DETEKTÖRLERİN İNCELENMESİ

Tuğba ÖZDEMİR

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlhan TAPAN

Gazlı detektörler içerisinde iyonizasyon ürünlerinden birisi olarak bilinen iyonların, aslında basit yapılı iyonlar olmadıkları son zamanlarda yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu tez çalışmasının amacı, detektörler içerisinde iyon kümelerinden başka iyonik yapıların bulunmadığını, difüzyon kavramından yola çıkarak göstermektir. Ayrıca bu çalışma Garfield⁺⁺ simülasyon programı kullanılarak yapılacak hesaplamalara, iyon kümelerinin etkisinin de katılması yönünde bir destek mahiyetindedir.

Anahtar Kelimeler: Gazlı Detektörlerde İyon Etkileri, Difüzyon.
2015, v+38 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION of MICRO-PATTERN GAS DETECTORS

Tuğba ÖZDEMİR

Uludağ University
Institute Of Science
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. İlhan TAPAN

The recent studies showed that the ions, which are known as one of the products from ionization process within the gas detectors, are not in ordinary structure in reality. The aim of this thesis is to show that there is no ionic structure other than ion clusters, by using concept of the diffusion. This work will also support Garfield++ simulation program for the calculation studies of the cluster ion effects.

Keywords: Ion effects in gaseous detectors, Diffusion.
2015, v+38 pages.

TEŞEKKÜR

Öncelikle eğitim hayatımın her aşamasında benim üzerimden maddi ve manevi desteklediğini eksik etmeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme... Yaptığımız çalışmalarda hesaplama ve programlama kısmında, bilgisi ve uzmanlığıyla yardımcı olan hem çalışma arkadaşım hemde hocam olan saygıdeğer Dr.Rob VEENHOF'a... Yüksek lisans süresince; zorlandığım her alanda bana yardımcı olan, çalışmalarımın bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan ve bana abilik yapan değerli Arş.Dr. Yalçın KALKAN'a... Çalışmalarım boyunca önüme çıkan akademik problemlerde yolumu açan, işlerimizi kolaylaştıran bilgisi ve tecrübesiyle bize destek olan saygıdeğer danışmanım ve hocam Prof. Dr. İlhan TAPAN'a... Lisanstan beri en yakın arkadaşım olan hem bilimsel konularda hemde manevi konularda her zaman yanımda olan sevgili arkadaşım Yüksek Atom ve Molekül Fizikçisi Mahir TURSUN'a... Tezimin düzeltme aşamasında çalışmam için teknik ve manevi destek sağlayan Çevre Mühendisi dostum, 12 yıllık arkadaşım Aslı ÇOLAK'a, ayrıca rahat çalışabilmem için kendi ofisleri olan Düzce Çevre Danışmanlık Merkezi ve OSGB'nin kapılarını bana açan şirket sahipleri; Çevre Mühendisi Semih GÜLMEZ ve Çevre Mühendisi Sercan KURT'a... Tez sürecimde ve sunumlarımda beni her zaman motive eden Bursa Çerkes Kültür Derneğinden değerli arkadaşım Elif KARABEKİROĞLU'a... Daha burada yazamadığım tüm arkadaşlarıma ve yakınlarıma TEŞEKKÜRLERİMİ bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI.....	
ÖZET.....	a
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	v
GİRİŞ	1
2. BİLİMSEL TEMELLER VE TEORİLER.....	3
2.1 Çarpışma Teorisi.....	3
2.2. Aktifleşme Enerjisi.....	5
2.3. Arrhenius Denklemi.....	7
2.4. Difüzyon	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1 Mikro Desenli Gazlı Detektörler.....	12
3.2 Mikromegas Gazlı Detektörleri	13
3.3 GEM (Gaz Elektron Çoğaltıcı) Detektör	14
3.4 Detektörlerde Sinyal Oluşumu.....	17
3.5 Gazlı Detektörlerde İyonlaşma Süreci	18
3.6 Gazlarda Elektron ve İyon Geçişi.....	20
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	22
4.1 İyon-İyon bulutu ikilemi.....	22
4.2 İyon Mobilitesi.....	22
4.3 İyon kümeleri (Cluster) nedir?	23
Küçük iyon kümeleri (Cluster) (10-100 atom):	24
Geniş İyon kümeleri (Clusterlar) (5000 atom)	24
4.4 İyon kümeleri ile moleküller arasındaki fark nedir?.....	24
4.5 Cluster İyonlarının Konumlanması:	25
4.6 Gazlı Detektörlerde İyon kümeleri.....	26
4.7 Difüzyon ve Nernst- Einstein Denklemi	27
4.8 Genelleştirilmiş Einstein denklemi	34
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ.....	42

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simge	Açıklamalar
α	Nükleer radyasyon
α	Birinci Townsend katsayısı
β	Nükleer radyasyon
c	Atom konsantrasyonu
D	Yayılm katsayısı
E	Elektrik Alan
E_r	Reaksiyonun (sağa doğru) aktifleşme enerjisi
E'	Ters reaksiyonun aktifleşme enerjisi
E_a	Aktivasyon Enerjisi
ΔE	Reaksiyonun net enerji değişimi
ΣE	Parçacığın toplam enerji kaybı
γ	Nükleer radyasyon
ΔH	Reaksiyonun net enerji değişimi
I	Bir sabit (Arrhenious denleminde)
I_0	Gelen ışık Şiddeti
J	Atomsal yayılım akısı (flux, difüzyon hızı)
K	Denge Sabiti
K	İyon mobillitesi
k	Hız sabiti
k'	Hız sabiti
μ	Soğurma katsayısı
M	Kütle
P	Basınç
R	Sıcaklık Sabiti
S	Kesit Alanı
T	Sıcaklık

ϑ_d	Sürüklenme hızı
x	Yol,mesafe
W_i	Bir elektron-iyon çifti üretmek için gerekli ortalama enerji
Z	Üstel faktörü (Frekans Faktörü, Çarpışma Sabit)

Kısaltmalar	Açıklamalar
MPGD	Mikro Desenli Gazlı Detektörler
GEM	Gaz Elektron Çoğaltıcı Detektör
HV	Yüksek Voltaj
CERN	Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
DAQ	Veri Toplama Ünitesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1.	4
Şekil 2. 2.	6
Şekil 2. 3.	9
Şekil 3.1.	12
Şekil 3.2.	12
Şekil 3. 3.	13
Şekil 3. 4.	13
Şekil 3. 5.	14
Şekil 3. 6.	15
Şekil 3. 7.	16
Şekil 3. 8.	17
Şekil 3. 9.	19
Şekil 3. 10.	21
Şekil 4. 1.	23
Şekil 4. 2.	25
Şekil 4. 3.	27
Şekil 4. 4.	31
Şekil 4. 5.	34
Şekil 4. 6.	35

GİRİŞ

Parçacıkların varlığını belirlemede ve onların izini sürmekte kullanılan bir çok çeşit detektör bulunmaktadır. Gazlı detektörlerde bu amaçlarla yapılmış ilk başta radyasyonun varlığını tespit edebilirken günümüzde parçacıkların varlığını, yerini, enerjisini ve momentumunu da detekte edebilmektedirler. Bu tezin “Mikro Desenli Gazlı Detektörler” kısmında günümüzde en çok kullanılan gazlı detektörlerin yapıları, çalışma prensipleri ve neden daha fazla tercih edildikleri ile ilgili bilgilendirmelerde bulunulmuştur. Bilindiği gibi radyasyon, elektronları dolaylı yada dolaysız atomdan uzaklaştırma yeteneğine sahiptir. Bu durumda biri negatif yüklü elektron biride pozitif yüklü iyon olmak üzere bir çiftlenim oluşur. Bu olaya iyonizasyon denir. Yüklü bir parçacık, gaz ortamına girerek gaz moleküllerinden bazılarını iyonlaştırır ve sonucunda elektron-iyon çiftleri oluştururlar. Uygulanan dış elektrik alandan dolayı elektronlar enerji kazanır ve yeni iyonlaşmalar gerçekleştirerek çoğalırlar. Hareketli yükler (elektronlar ve iyonlar) yüksek voltaja bağlanmış elektrotlar üzerinde yük indükleyerek sinyal üretirler ve bu sinyaller bir bir kaydedilir sonrasında analiz edilirler. Elektronların kütleleri iyonlara göre çok daha küçük oldukları için, iyonlardan çok daha hızlı hareket ederler. Elektrotlar üzerine uygulanan potansiyel fark sonucunda oluşturulmuş elektrik alanyardımlarıyla elektronlar, ortamda bulunan gaz atomları veya moleküllerini tekrar tekrar iyonlaştırabilirler. Elektronların enerjileri ve kullanılan gazların karakteristik özelliklerine göre çarpışmaların türü değişir. Bu çarpışmalar sonucunda, anod levhaya doğru sürüklenen elektronların elektrik alan etkisiyle kinetik enerjileri artar ve ortamda yeni elektron-iyon çiftleri oluşur. Bu elektron-iyon çifti oluşum süreci ard arda gerçekleşir ve anot civarında bir elektron çığı oluşmasına neden olur. Çığ elektronlarının toplam sayısının, detektöre giren parçacıklar tarafından üretilen elektronların sayısına oranı gaz kazancı olarak adlandırılır. Kazanç detektörden alınan sinyalin kalitesini belirleyen en önemli niceliklerden biridir. Dolayısıyla detektörden alınan sinyaller, ortamda iyonizasyon ürünü olarak bulunan iyonlar yüzünden kalitesini kaybedebilir. Bu problem, bu tez çalışmasının ana problemi olarak ele alınabilir. Detektör içerisinde oluşan iyonların ve hatta yeni nesil çalışmalarda varlığı kanıtlanan iyon kümelerinin (Cluster) sinyale etkilerinin belirlenmesi, sinyalin

kalitesine etkilerinin azaltılması hususunda bilim dünyasına yol gösterecektir. Bu sebeple yapılan bu tez çalışmasında detektör içerisinde sinyal kalitesini etkiledikleri, bilim çevrelerince sıkça tartışılan iyonların difüzyon özellikleri, iki aşamalı bir iş planı ile teorik olarak incelenmiştir. Bu tez çalışması iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım programlama kısmı olmakla birlikte Garfield⁺⁺ simülasyon programı altında çalışabilecek bir alt program oluşturulması hedefine dayanır. İkinci kısım ise difüzyon ile ilgili literatürden elde edilen bilgiler ışığında teorik hesaplamaları içerir. Aslında literatürde yer alan iyon mobilitesi ile ilgili bilgiler ile bu tez çalışmasında difüzyon ile ilgili elde edilmiş bilgilerin birleştirilmesi, detektör içerisinde nanosaniyeler sonra iyonların değil, sadece iyon kümelerinin varolabileceğinin açıkça bir kanıtıdır.

2. BİLİMSEL TEMELLER VE TEORİLER

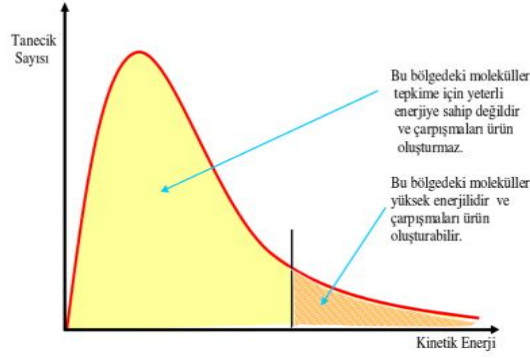
2.1. Çarpışma Teorisi

Kimyasal tepkimelerin gerçekleşmesini ve hızını açıklayan bir teoridir. Bu teoriye göre tepkimeye giren maddelerden ürün elde edilmesi için tepkimeye girenlerin taneciklerinin (atom, molekül veya iyon) çarpışması gerekir. Çarpışmayı izleyen süreçte önce çarpışmaya giren maddelerin moleküllerinde bağlar kopar, daha sonra yeni bağların oluşumu ile ürün elde edilir. Ancak her çarpışma ürün vermez.

Bir çarpışmanın ürün verebilmesi için;

- Çarpışan taneciklerin belirli bir minimum enerjiye sahip olması gerekir.
- Çarpışmanın uygun geometride ve uygun bir açıyla gerçekleşmesi gerekir.Çarpışma esnasında reaksiyon tanecikleri arasında enerji transferi gerçekleşir.
- Sahip oldukları kinetik enerji,
- Birim hacimdeki sayıları (konsantrasyonları)

Taneciklerin minimum enerji ile yeterli hızla ve uygun açıyla çarpışmalarına etkin çarpışma denir. Etkin çarpışmada ürün meydana gelir. Bu tür çarpışmalar tüm çarpışmaların çok küçük bölümü kadardır. Birim zamanda gerçekleşen etkin çarpışmaların sayısı arttıkça tepkime hızında artar.



Şekil 2. 1. Tepkimeye giren moleküllerin enerji dağılımları

Çarpışma teorisi gazların kinetik teorisine dayanmaktadır. İki molekül arasında bir reaksiyon olacaksa önce bunların birbirlerine çarpışması gerekir. Arrhenius Teorisi'ne göre her çarpışma bir reaksiyon vermez (2.1. Arrhenius Teorisine Bakınız). Moleküllerin çarpışması yetmez aktifletme enerjisine sahip moleküllerin çarpışması gerekmektedir. (MeotNer and Field1977, Şenvar 1977)

Çarpışma esnasında molekülde bulunan atomlar veya atomlarda bulunan elektronlar yeniden düzenlenir yani kimyasal bağların yeniden değişmesi gerekir. Bunların sonucunda ürün yada ürünler oluşur. Çarpışmaların hepsinin ürünle sonuçlanmamasının nedeni Kinetik Moleküller Teorisine göre yapılan hesaplarda $25^{\circ}C$ de, 1 atm basınçta ve 1ml hacimde gazların yaklaşık 10^{30} ikili çarpışma yaptıklarını göstermektedir. Eğer her ikili çarpışma ürünle sonuçlansaydı tepkimeler çok daha kısa sürede tamamlanırdı. Gaz ortamındaki reaksiyonlarda atomlar ve moleküller kusurlu bilorda topları gibi davranırlar. Düşük enerjili (hızları düşük) moleküller birbirlerine çarptıklarında bağlar kopmadan birbirlerinden ayrılıp reaksiyon vermeden yollarına devam ederler. Ancak yüksek enerjili moleküller birbirlerine çarptıklarında ise bağları kırılır yeni bağ yapıları oluşabilir. Dolayısıyla çarpışmaların reaksiyon ile sonuçlanması için moleküllerin başlangıçtaki kinetik enerjileri yeterli olabilir (Linn 1981).

2.2. Aktifleşme Enerjisi

Her kimsayal tepkimenin gerçekleşme enerjisi farklıdır. Bazı moleküller kimyasal tepkimeye girdiklerinde anında reaksiyon verirken bazıları saatlerce beklemek durumunda kalabilir. Arrhenus'a göre (Bölüm 2.3) her molekül çarpışınca reaksiyon veremez. Ancak “aktifleşme enerjisi” denen minimum enerjiye yada fazlasına sahip olan moleküller çarpışınca reaksiyon verebilirler. Moleküller termik hareketleri dolayısıyla kendi aralarında gelişigüzel çarpışınca, bazı moleküllerin enerjisi ortalama enerjinin birkaç katı kadar yükselebilir. Enerjileri bu şekilde artmış moleküllere “aktifleşmiş” denilebilir. Enerjisine de “Aktifleşme Enerjisi” diyoruz. Aktifleşme enerjisi her reaksiyon için farklıdır. Her reaksiyon için aktifleşme enerjisi aynı olmaz bazıları için küçük aktifleşme enerjisi gerekirken bazıları için daha büyük aktifleşme enerjisi gerekebilir (Ece 2007).

Bir reaksiyonun hızının sıcaklıkla 2 yada 3 kat arttığı deneysel olarak gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra eşit derecede sıcaklığın artışı örneğin 10°C sıcaklık artışı kinetik enerjiyi %3 artırabilirken reaksiyon hızını 2-3 katına çıkarabilir. Görüldüğü gibi moleküllerin ortalama enerjisi çok az arttığı halde, reaksiyon hızı büyük bir artış gösteriyor. Buradan anlaşıldığı gibi reaksiyon hızına asıl etki eden moleküllerin ortalama kinetik enerjisi değil aktifleşme enerjisi olmalıdır.

Aşağıdaki denge reaksiyonu ile açıklayacak olursak;



Denge durumunda sağa ve sola doğru olan reaksiyonun hızları birbirine eşit olmalıdır. Bu hızlar şöyle yazılabilir:

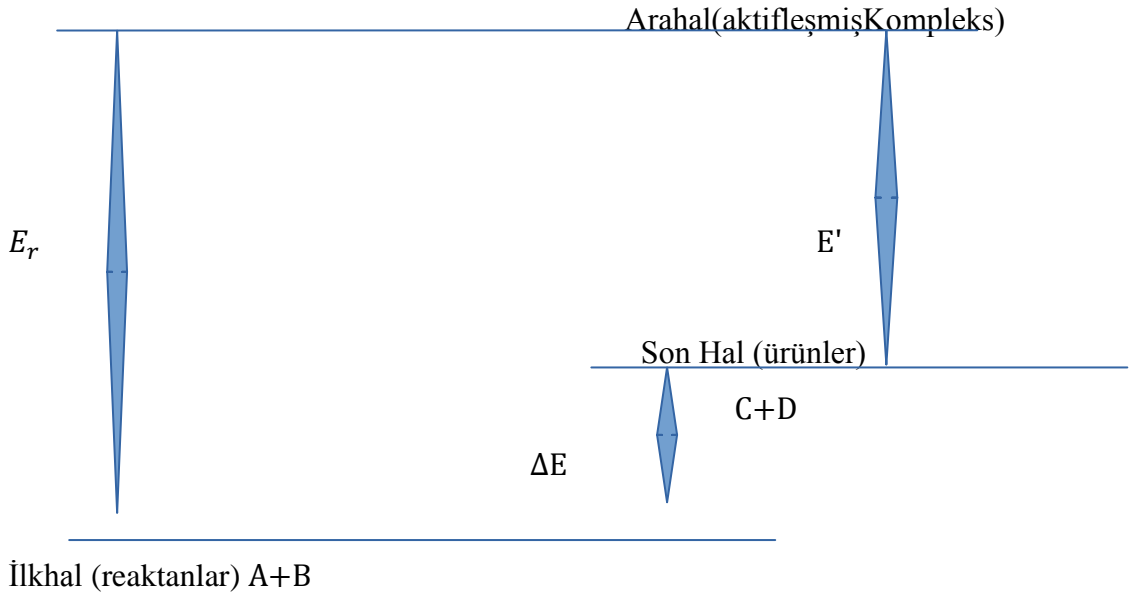
$$k a b = k' c d \quad (2.2)$$

Burada a, b, c, d ile derişimleri gösterilmektedir. k ve k' ise hız sabitleridir. Buradan;

$$\frac{k}{k'} = K = \frac{cd}{ab} \quad (2.3)$$

yazılabilir. k ve k' birer sabit olduğundan bunların oranıda K gibi bir sabiti olacaktır. Ve bu sabite “denge sabiti” diyoruz. (Şenvar 1977)

Aktifleşme enerjisine sahip iki molekül çarpıştığında bir “kompleks” veya “ara hal” oluştururlar. Bu arahal reaktanlar ile ürünler arasındaki bir haldir. (Şekil 2.1.) de reaktanların arahali ve ürünlerin enerji düzeyleri gösterilmiştir. (2.1) denkleminde A ve B maddeleri reaktandır, C ve D maddeleri ise ürünlerdir.



Şekil 2. 2. İlk hal (reaktanlar), Ara hal (aktifleşmiş kompleks) ve Son hal (ürünler) için enerji diyagramı.

Bu şekilde E_r , reaktanlar ile arahalın enerji farkını gösteriyor ve sağa doğru olan reaksiyonun aktifleşme enerjisidir. E' ise ters reaksiyonun aktifleşme enerjisidir. Reaksiyonun net enerji değişimi $\Delta E = E_r - E'$ olur. Eğer reaksiyonda hacim değişmesi olmuyorsa veya hacim değişmesi çok az ise (sabit sıcaklıkta çözelti reaksiyonlarında olduğu gibi) $\Delta E = \Delta H$ kabul edebiliriz ve $\Delta H = E_r - E'$ yazabiliriz (Chang and Raymond 2005).

2.3. Arrhenius Denklemi

Denge sabitinin sıcaklıkla nasıl değiştiğini Van't Hoff denklemleri (Termodinamikten) ile gösterecek olursak:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (2.4)$$

2.2 bağıntısı ile $\Delta E = E_r - E'$ denklemini kullanarak Van't Hoff denlemleri:

$$\frac{d \ln k}{dT} - \frac{d \ln k'}{dT} = \frac{E_r}{RT^2} - \frac{E'}{RT^2} \quad (2.5)$$

Arrhenious bu son bağıntıyı iki ayrı bağıntı olarak göstermiştir (Segal, Irwin 1975).

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E_r}{RT^2} + I ; \frac{d \ln k'}{dT} = \frac{E'}{RT^2} + I \quad (2.6)$$

I bir sabittir. $I = 0$ olduğu deneysel olarak gösterildiğinden hız sabiti k ile sıcaklık arasındaki bağıntı;

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E_a}{RT^2} \quad (2.7)$$

olarak yazılabilir. E_a = Aktivasyon Enerjisidir. Bu son bağıntı Arrhenius bağıntısı olarak bilinir. Eğer integrali alınırsa;

$$\ln k = \frac{-E_a}{RT} + \text{sabit} \quad (2.8)$$

$$k = Z \cdot e^{-E_a/RT} \quad (2.9)$$

yazılabilir. Z = Üstel faktörü, Frekans Faktörü, Çarpışma Sabiti ve sağladığı ikinci terime üstel terim denir. E_a 'nın sıcaklıkla değişmediği kabul edilir.

Z yerine bazen Aharfide kullanılır. Z 'nin birimi hız sabitinin birimine eşittir ve Aktifleşme enerjisi sıfır olan bir reaksiyon için $Z = k$ diyebiliriz. Çünkü $E_a = 0$ olunca (2.3.6) denkleminin üstel terimi 1 olur. $E_a > 0$ ise reaksiyonun hızı sıcaklıkla artar.

$E_a < 0$ ise reaksiyonun hızı sıcaklıkla azalır (Ames, James 2010).

Aktifleşme enerjisi reaktant moleküllerin arahali vermeden önce sahip olmaları gereken enerjidir. E_a 'nın tayini için, değişik sıcaklıklardaki k değerini tayin etmek gerekir. (2.3.5) den görüldüğü gibi $\ln k$ değerleri $1/T$ değerlerine karşı grafiğe alınırsa, eğimi negatif olan bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi $-E_a / R$ değerini verir buradan da E_a hesaplanır (Laidler and Keith 1984).

$$\log k = \frac{-E_a}{2,303 RT} + \text{Sabit} \quad (2.10)$$

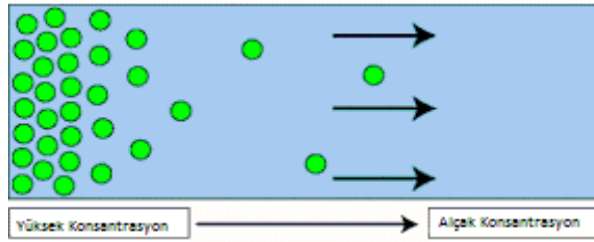
Ya da (2.3.7)'den yararlanılarak $\log k$ değerleri $1/T$ değerlerine karşı grafiğe alınırsa, eğimi negatif olan bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi ise, (2.7) den görüldüğü gibi $-E_a/2,303R$ olur. Yalnız iki sıcaklıktaki hız sabitleri ölçülmüş ise, (2.7) denklemini her iki sıcaklık için yazılıp birbirlerinden çıkarılırsa;

$$\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2,303 R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right) \quad (2.11)$$

denklemini yardımıyla E_a hesaplanabilir. Bu son bağıntıda T_1 sıcaklığında ölçülen hız sabiti k_1 , T_2 sıcaklığında ölçtüğümüz hız sabiti k_2 ile gösterilmiştir (Logan 1982).

2.4. Difüzyon

Difüzyon, herhangi bir maddenin moleküllerinin tek tek, bireysel ve rastgele hareketlerle derişim farkına bağlı olarak yoğun olarak buldukları bir ortamdan daha az yoğun oldukları başka bir ortama doğru hareket etmesidir (Şekil 2.3.). Moleküllerin difüzyonu kinetik bir olaydır ve Fick kanunları ile matematiksel olarak ifade edilir. Difüzyonun kolay veya zor olması moleküllerin karşılaştıkları dirence bağlıdır. Ayrıca difüzyon sıcaklığa, molekül ağırlığına ve yoğunluğa bağlı olarakta değişir.



Şekil 2. 3. Moleküllerin derim farkına bağlı olarak hareket etmeleri

Moleküllerin bir bölgeden diğer bir bölgeye difüzyon hızına akı (J , flux) denir ve bu değer birim zamanda (2.4.1.Eşitliği) M difüzlenen kütleyi gösterir gram veya mol olarak, S de kesit alanını cm^2 ve t de zamanı sn olarak kabul ettiğimizde; Difüzyonda

akının birimi $\frac{atom}{cm^2 sn}$ veya $\frac{mol}{cm^2 sn}$ olur.

$$J = \frac{dM}{S dt} \quad (2.5)$$

Konsatrasyon gradyanı yüksek iken başlangıçtaki akısı da yüksektir ve gradyan azalırken düzenli bir şekilde düşer. Yayınım katsayısı sıcaklığa, yayınım sisteminin türüne ve yapısına bağlıdır (MeotNer and Field1977).

2.4.1. Fick Yasası

Difüzyon hesaplarında kullanılan Fick Yasası literatürde iki şekilde yerini bulmuştur:

2.4.1.A. Birinci Fick Yasası (Yayınım Hızı):

Bir madde içinde atomların yayınım hızları, birim zamanda birim düzlem alanı boyunca geçen atom sayısı olarak ifade edilen akı “J” ile ölçülebilir. 1. Fick Yasası net atom akısını açıklar. Denklemini ise;

$$J = -D \frac{\Delta c}{\Delta x} \quad (2.6)$$

J: Atomsal yayılım akısı $\frac{atom}{cm^2 sn}$,

D: Yayılım katsayısı (cm^2/sn),

c :Atom konsantrasyonu

$\frac{\Delta c}{\Delta x}$: Konsantrasyon gradyanı.

Akı değeri iki bölge arasındaki derişimle ilişkilidir. Buna göre bu eşitlik, derişim farkı esas alınarak tekrar yazılırsa, Fick'in Birinci Yasası olarak bilinen (2.6) eşitliği elde edilir. Bu eşitliğe göre, molekül hareketi iki bölge arasında derişim gradienti "sıfır"oluncaya kadar devam eder.

Yani bu yasa, difüzyonun denge durumu koşullarında gerçekleşmesi durumunda geçerlidir. dC/dx , derişim gradyanı (concentration gradient) olup, zamandan bağımsız bir değerdir. Bu, difüzyonun gerçekleştiği bölgedeki her birim mesafede az yoğun bölge ile çok yoğun bölge arasındaki derişim farkının zamanla değişmediği anlamına gelir.

2.4.1.B. İkinci Fick Yasası (Kompozisyon Profili):

İkinci Fick Yasası atomların dinamik veya durağan olmayan hallerini tanımlar. Yani Birinci Fick Yasası, örneğin çeligin yüzeyine karbon difüzyonu gibi bazı sorunlara uygulanmaya müsait bir şekil değildir. Sonsuz küçük bir hacimde net atom kazancını dikkate alan bir türev alma yoluyla İkinci Fick Yasası elde edilir (Martin and Bustamante 1993, Gonda 1988).

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad (2.4.1.b)$$

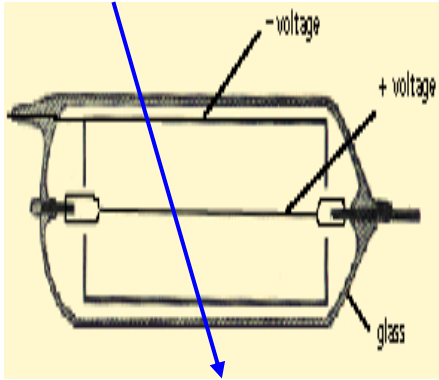
şeklinde bir diferansiyel eşitliktir. Denklemin çözümü belirli bir durum için sınır kurallarına bağlıdır. Denklemin bu şekli D'nin konsantrasyonla değişmesini hesaba katar. Bununla birlikte uygulanması hayli zor olup bu nedenle D yi sabit kabul etmek suretiyle bir basitlestirmeye gidilir. Bu özellik, belirli bir ısıl işlemin uygulanması için gerekli zaman üzerine sıcaklığın etkisini belirlemeyi sağlar (Franklin and Franz 2000, Kim 2004).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

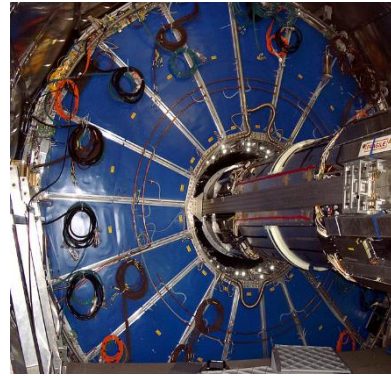
3.1. MikroDesenli Gazlı Detektörler

Parçacık deteksiyonu ve takibi için kullanılan detektör ailesinin önemli üyelerindendirler. Gazlı detektör serüveni 1908 yılında “Geiger Müller Sayaçları” olarak adlandırılan detektörler ile başladı. Bu sayaçlar, radyasyonun yük boşaltması ile detekte eder. Düşük frekanslı alfa, beta, gama ışınlarını sayabilir ama parçacık izi takibi yapamaz. Kısacası sadece radyasyonun varlığını belirleyebilir. İlk modelini 1908 yılında Hans Geiger yapmıştır. Bu detektörleri “Paralel Plakalı” ve “Silindirik Sayaç” gibi detektör modelleri ortaya atılsa da gazlı detektörler günümüzde ise MPGD'ler (Mikro Desenli Gazlı Detektörler) ile hem parçacığın bu detektörlerle teknolojinin ihtiyaç duyduğu konum rezülasyonunun yakalanması mümkün değildi. Bu konudaki problemi ortadan kaldırmak üzere 1968 yılında ortaya attığı fikirle C.Charpak, 1992 yılında Nobel ödülü almasına sebep olan “Çok Telli Orantısal Sayaç” ile bilim arenasına çıktı. Bu detektör Gazlı detektörlerin konum hassasiyetini bir miktar öteye götürse de yeni bir düşünceye ihtiyaç vardı (Flynn 1991).

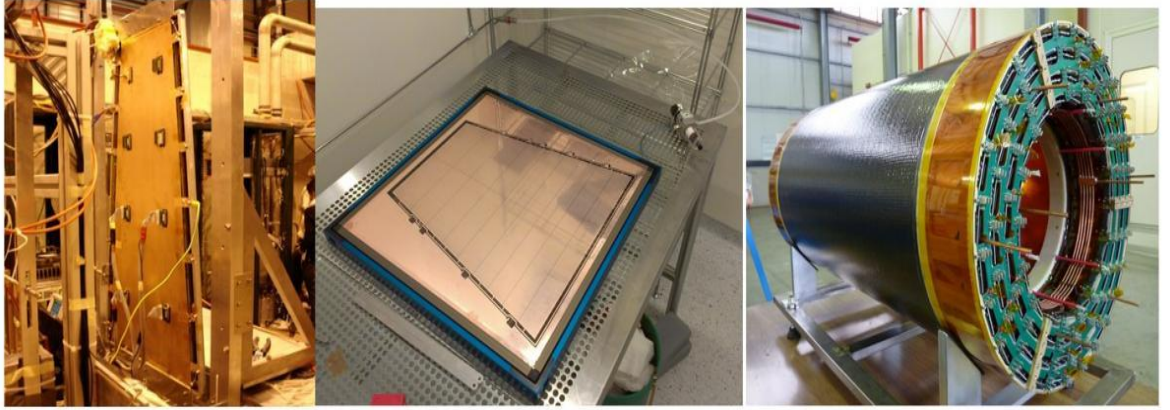
MPGD'ler sinyalin gaz hacmi içerisinde bir ön çoğalma vasıtasıyla daha güçlü alınmasını sağlarlar.Parçacığı izleme kapasiteleri oldukça hassastır.20- 50 μm gibi küçük skalaları izleyebilirler.Gazlarda parçacık takibinde her zaman daha küçük skalalara ihtiyaç vardır tabi fakat günümüzde mikro desenli gazlı detektörler bu işi gayet iyi ölçüde yapabilmektedir.(Florence and Atwood 1988)



Şekil.3.1. Geiger Müller Gazlı Detektörü



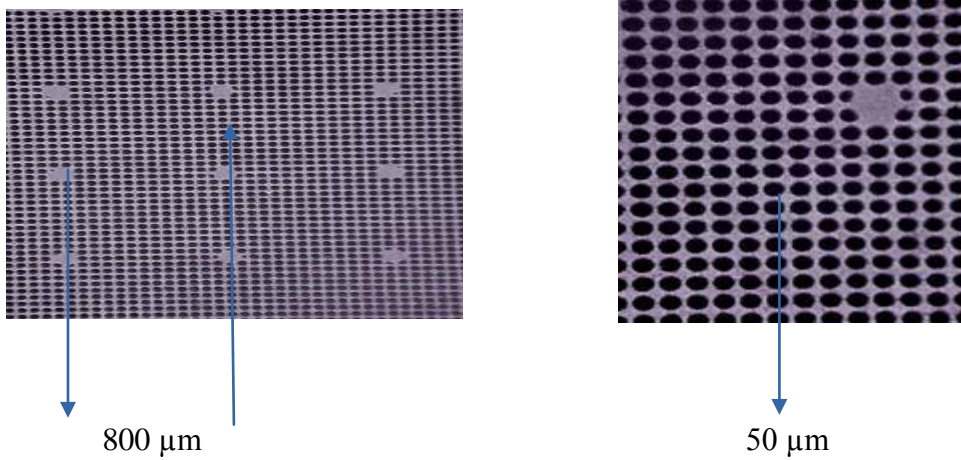
Şekil.3.2. TPC (Time Projection)



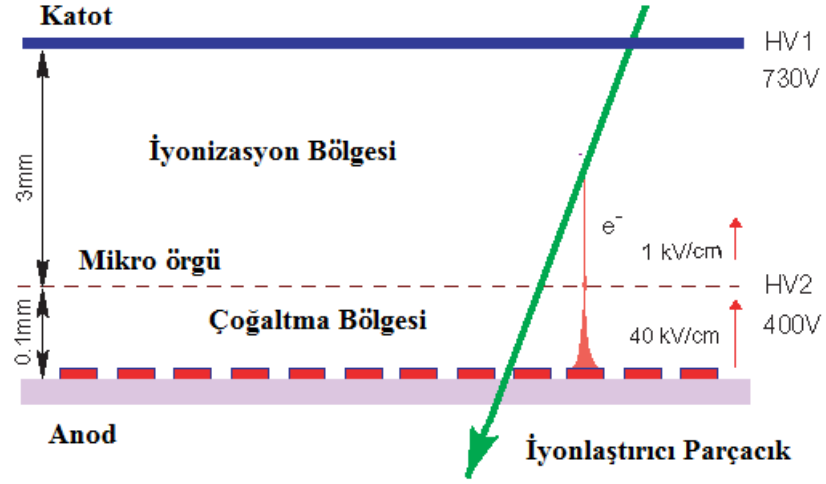
Şekil.3.3. GEM (Gas Elektron Multiplayer) Gaz Elektron Çoğaltıcı Detektörler

3.2. Mikromegas Gazlı Detektörleri

Mikromegas detektörleri “Yannis Giomataris” and “Georges Charpak” tarafından 1994 yılında bulunmuştur. Oldukça Hızlı ve birden çok parçacığa duyarlı gazlı detektörlerdir. Micromegas’lar temelde paralel levhalı detektörlere oldukça benzer. Birincil parçacıklar geniş bir iyonizasyon bölgesinde içerisinde oluşur, elektrik alan etkisindeki elektronlar küçük deliklere sahip ince katot mesh (örgü) ile anot arasındaki dar bölgede çoğalır. Asimtotik paralel plakalar kullanılarak yapılan mikro gözeneklerdir (İnce ızgaralar gibi) (Barry 1988).



Şekil 3.4. Mikromegas detektöründe örgü (mesh) yapısı.

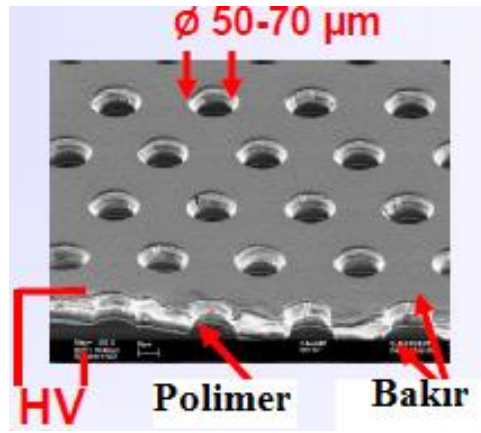


Şekil 3. 5. Mikromegada anot ile katot arasında elektrik alan altında elektronların hareketi

Mikromegas detektörleri mükemmel konum çözünürlüğü, iyi enerji çözünürlüğü, çok düşük backgraund, ucuz, mükemmel kararlılık, uygulama alanı geniş (X-ışınları, nötron detektörleri, parçacık takibi, TPC detektörleri, görünür foton detektörler..) olduğu için kullanılması en çok tercih edilen detektörlerdir (Linn 1981).

3.3. GEM (Gaz Elektron oğaltıcı) Detektör

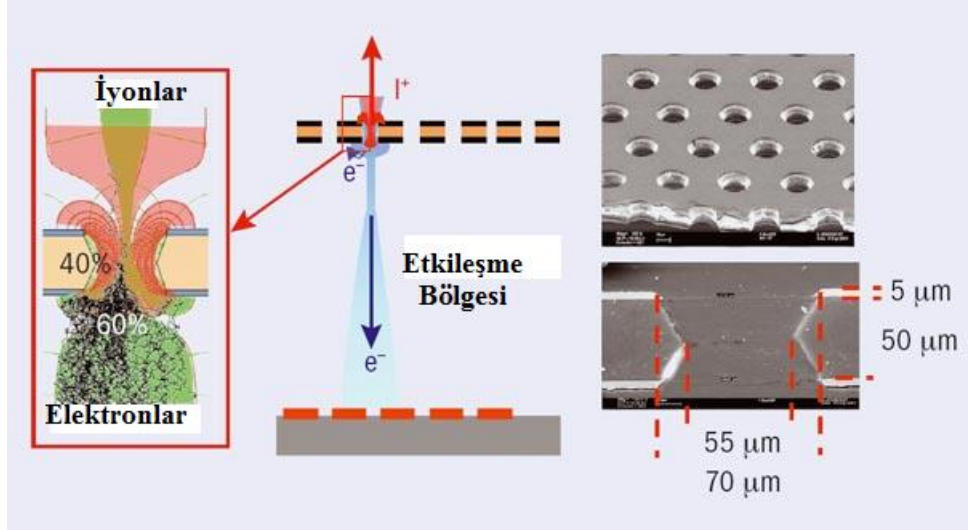
GEM detektörünün örgü bölgesi, her iki tarafı metal ile kaplanmış yalıtkan polimer foil den meydana gelir. Elektronların çoğalması, elektronların deliklerin içerisinden geçmesi esnasında gerçekleşir. (Tapan 2013)



Şekil 3. 6. GEM detektörünün iç yapısı

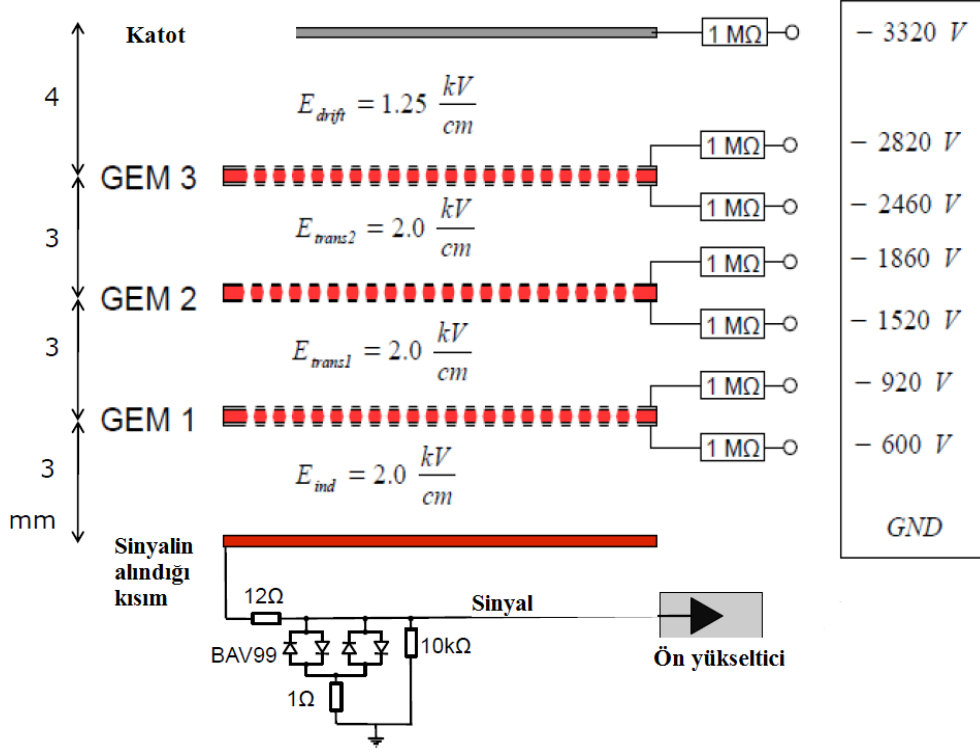
GEM detektörleri; Yüksek voltaj kaynağı (HV),anot levhası,elektronik kaynakların çıkış ünitesi(readout electronics), veri toplama ünitesi (DAQ) programı ile donatılmış odadan oluşmaktadır (Veenhof 2014).¹

¹ Kapton -269 den +400 °C'ye kadar, geniş bir sıcaklık aralığında sabit kalabilen, DuPont şirketi tarafından geliştirilen bir poliimid filmin, metal tabakalar ile kaplanarak, mikrometrik deliklerden oluşur.



Şekil 3.7. GEM detektörlerinin özellikleri

Amplifikasyon yapılar readout yapılardan bağımsızdır. Hızlı elektron sinyalleri elde edildiğinden iyon kuyrukları yoktur. Endüstriyel malzemelere ve yöntemlere dayalı ürünlerdir. Aşamalı olması ve esnek malzemelerden yapıldığından şeklini değiştirmek mümkündür (Cortez 2014).



Şekil 3. 8. Üç Aşamalı (Triple) GEM detektörü örneği

3.4. Detektörlerde Sinyal Oluşumu

MPGD'lerin çalışma prensipleri ve onlardan sinyal alması, hemen hemen bütün gazlı detektörlerde aynı olmakla birlikte, temel olarak aşağıdaki basamaklardan meydana gelir (Türk Çakır 2011).

Aşama 1: Yüklü bir parçacık gaz ortamına girerek gaz moleküllerinden bazılarını iyonlaştırır.

Aşama 2: Uygulanan dış elektrik alandan dolayı elektronlar enerji kazanır ve yeni iyonlaşmalar gerçekleştirerek çoğalır.

Aşama 3: Hareketli yükler (elektronlar ve iyonlar) yüksek voltaja bağlanmış elektrotlar üzerinde yük indükleyerek sinyal üretirler. Bu sinyaller alınarak yükseltilir ve kaydedilir.

Aşama 4: Kaydedilen sinyaller analiz edilir.

3.5. Gazlı Detektörlerde İyonlaşma Süreci

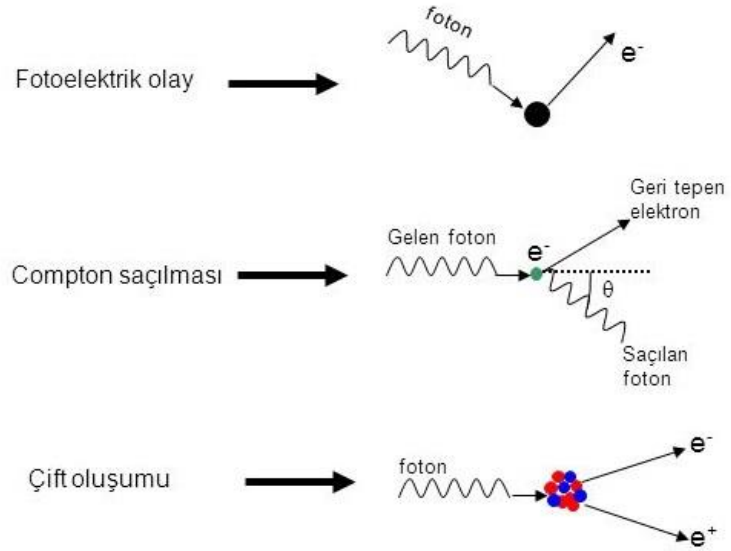
Birçok atom elektriksel bakımdan nötrdür. Radyasyonun en önemli özelliği atomları veya molekülleri iyonlaştırmasıdır. Ayrıca radyasyon, dolaylı veya dolaysız olarak elektronları atomdan uzaklaştırır. Bu uzaklaştırma esnasında bir çift yüklü parçacıklar oluşmaktadır. Oluşan parçacıklardan biri negatif elektron diğeri ise pozitif yüklü atomdur. İyonizasyon olarak bilinen bu olay α , β ve γ nükleer radyasyonlar olup madde ile etkileşirler. Nötron yüksüz olduğundan madde ile etkileşimi zayıftır.

Radyasyonun maddeyle etkileşimini anlayabilmek için dedektörler kullanılmaktadır. Yüklü parçacıklar (α , β , γ) maddeyle Coulomb etkileşmesi yoluyla etkileşirken, γ -ışınları ise Compton, fotoelektrik ve çift oluşumu oluyula etkileşir. Dedektör seçimi radyasyon tipine bağlıdır. α , β ve γ radyasyonları için detektör kalınlıkları aşağıdaki gibidir (J. Klabunde 1993) :

- α : Çok ince pencerele dedektörler (Erişme menzili 100 μ m).
- β : Dedektör kalınlığı 0,1 – 1mm
- γ : Dedektör kalınlığı 5 cm.

Elektromanyetik ışın (foton) madde içerisinde ya soğurulur yada sapar. Bu olay sonucunda da fotonun şiddeti azalır. Çoğunlukla foton frenlemeyi yapan atomun elektronları ile reaksiyona girer ve bu şekilde madde ile etkileşme gerçekleşir.

Bunlar; Fotoelektrik Olay, Compton Saçılması,Çift Oluşumu'dur.



Şekil 3.9. Fotoelektrik Olay, Compton Saçılması, Çift Oluşumu.

Bu olaylar oluşunca madde içerisinde bir x yolu boyunca fotonun şiddeti azalır (Türk Çakır 2011).

Bu fiziksel olay soğurma kanunu ile açıklanır:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Burada I_0 gelen şiddet, μ ise soğurma katsayısıdır. Eğer bir parçacık atomun elektronları ile etkileşirse şu sonuçlar olabilir:

1. Enerjisinin tümünü elektronlara aktarabilir. (yani parçacık soğurur)
2. Tanecik elastik saçılır ve (ihmal edilecek bir açıyla saparsa) çok az enerji kaybı ile yoluna devam edebilir.
3. Coulomb kuvveti sonsuz menzile sahip olduğu için aynı anda birkaç elektronla reaksiyona girebilir. (Örneğin alfa parçacığının sis odalarındaki izi)
4. Atomun iyonlaşması olabilir.

3.6. Gazlarda Elektron ve İyon Geçişi

Detektör ortamında gaz kullanıldığında, diğer etkileşmeler sonucu enerji kayıpları ihmal edilerek deteksiyonda sadece iyanizasyon enerji kaybı dikkate alınır. Gazlı detektör içerisinde yol alan yüklü parçacığın izi boyunca iyonizasyon ile enerji kaybı sonucu oluşturacağı elektron-iyon çiftlerinin sayısı;

$$N_0 = \frac{\sum E}{W_i} \quad (3.1)$$

- $\sum E$ parçacığın toplam enerji kaybı
- W_i Bir elektron-iyon çifti üretmek için gerekli ortalama enerji (gazlar için ortalama 30 eV)

Bir elektrik alan uygulandığında, gaz içerisinde oluşmuş elektron-iyon çiftleri elektrik alan boyunca harekete zorlanırlar. Bu hareket esnasında elektronlar gaz molekülleri ile çarpışarak bir ortalama hıza “sürüklenme hızına ($\mathcal{V}_{\text{drift}}$)” ulaşırlar.

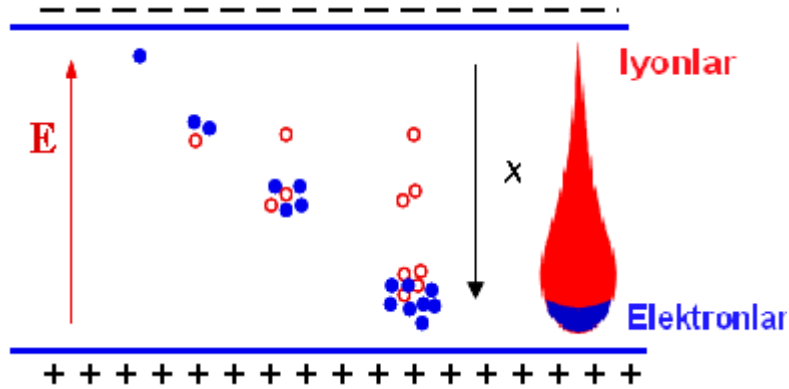
$$v_{\text{drift}} = \frac{e}{2m} E \tau \quad (3.2)$$

- τ yüklerin gaz molekülleri ile yaptığı iki çarpışma arasında geçen ortalama süre.

Başlangıçtaki toplam elektronların sayısı N_0 olmak üzere, bu elektronların düzgün bir elektrik alan şiddetine sahip bir gaz detektör hacmi içerisinde kontağa ulaşana kadar x mesafesi boyunca iyonizasyon yapmaları sonucu kontağa ulaşan elektron sayısı;

$$N = N_0 e^{\alpha x} \quad (3.3)$$

- α Birinci Townsend katsayısı $\alpha / P = A \exp(-BP/E)$
- P basınç,
- E uygulanan elektrik alan,
- A ve B katsayıları gazın cinsine bağlı sabitler



Şekil 3.10. Gazlı detektörün temel çalışma prensibi

Elektrik alan şiddeti yeterince yüksek ise elektronların kazanacağı kinetik enerji değeri, çarpışma yaptığı anda gaz atomlarını iyonize edebilecek seviyelere ulaşabilir.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. İyon-İyon bulutu ikilemi

Bir gazlı detektör hacminde, deteksiyon sürecinin ürünleri olarak iyonlar, detektörün amacına uygun olmayan davranışlar göstererek, çalışma sürecini olumsuz olarak etkilemekte ve son yılların çözülmeyi bekleyen popüler bir problemi olarak görülmektedirler. Yaklaşık olarak 30 yılı aşkın bir süredir simülasyon programlarında basit yapılı iyonlar olarak ele alınan bu iyonizasyon ürünleri, gazlı detektörlerin araştırılması ve geliştirilmesi üzerine kurulmuş gelişmiş laboratuvarlarda bile basit yapılı iyonlar olarak ele alınıyordu (J. Klabunde1994).

4.2. İyon Mobilitesi

İyonların elektriksel alan içerisindeki sürüklenme hızlarına iyonik mobilite denir. İyonik mobilite iyonun yükü ile doğru,sürtünme katsayısı ile ters orantılıdır. Sürtünme katsayısı; sıcaklığa, iyon yarıçapına ve ortamın şekline bağlıdır.

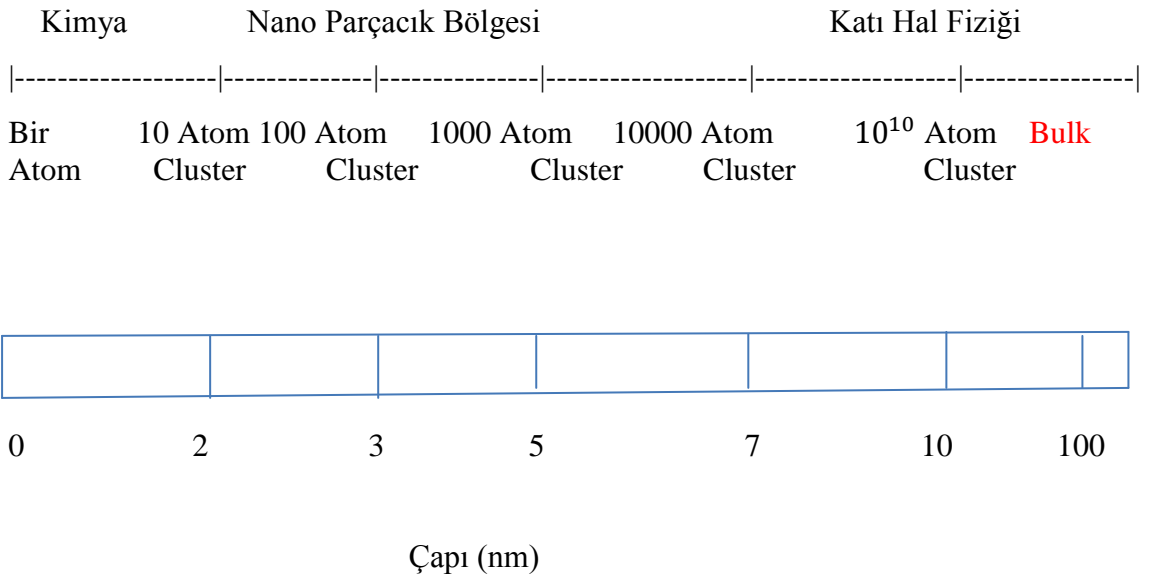
$$K = \frac{\vartheta_d}{E} \quad (4.1.1)$$

- ϑ_d : Sürüklenme hızı
- E : Düzgün elektrik alan

4.3. İyon Kümeleri (Cluster) nedir?

Atom Teorisi “John Dalton” tarafından geliştirilen model ile kabul görmüş ve maddenin davranışlarını incelemek için iki yola ayrılmıştır. Bunlardan birincisi; atom ve moleküllerin bireysel özellikleri, konsantrasyonları, davranışları olarak sayılabilir. Bu çalışmalar 1930’larda nükleer fizik ve parçacık fizik ortaya çıkmasına yol açtı. İkincisi ise; bir arada olan çok çok çok sayıda atom ve moleküllerin özelliklerine vurgulandı ki, bunlar o kadar çoktu ki sonsuz olarak kabul edildiler. Neredeyse 1970’lerin sonuna kadar bu atomlar arasındaki bu limitler özünden bağımsızdı. O zamandan beri bu çalışma alanına ilgi yoğun bir şekilde arttı ve bu yapılar “cluster” olarak adlandırıldı.

Bilim insanları bazen üç parçacığın bir cluster oluşturup oluşturmayacağını tartışabilirler. Clusterların günümüzdeki toplam kabuledilen büyüklükleri $2 \cdot 10^6$ boyutundadır. Bağlanma enerjileri kimyasal bağlı moleküller ile Van der Waals molekülleri arasında (0.1-1.5 eV) değeri alır. Clusterlar genellikle aşağıdaki şekilde belirtildiği gibi 1 atom ile $10 \cdot 10^{10}$ atom boyutu arasındadır. Daha büyük yapılara yığın madde (bulk matter) denir.



Şekil 4. 1. Topakların (Clusterların); Nanoparçacık, Katıhal ve Kimya ile

Bunun yanı sıra Clusterların Astrofizikte de yaygın bir şekilde kullanılır. Örneğin; Evren Tozu (Cosmic dust) oluşumunda önemli rol oynar. Atomik ve hacimsel(bulk) ölçekler arasında çok önemli özelliklere sahiptir. Yani makroskopik dünya ile mikroskopik dünya arasındaki köprüdür. İyon kümeleri (cluster) iki gruba ayrılır:

Küçük iyon kümeleri (Cluster) (10-100 atom):

Küçük Clusterların özellikleri boyutlarına ve şekillerine göre değişir. Bileşen parçacıkların sayıları düzgün olarak verilebilir. Küçük clusterlar da veya moleküllerde, onların enerji seviyesi arasındaki boşluklar ihmal edilemez. Enerji seviyeleri arasındaki boşluk maddenin boyutlarına bağlıdır ve küçük clusterlar arasındaki boşlukta küçük veya orta moleküller gibidir.

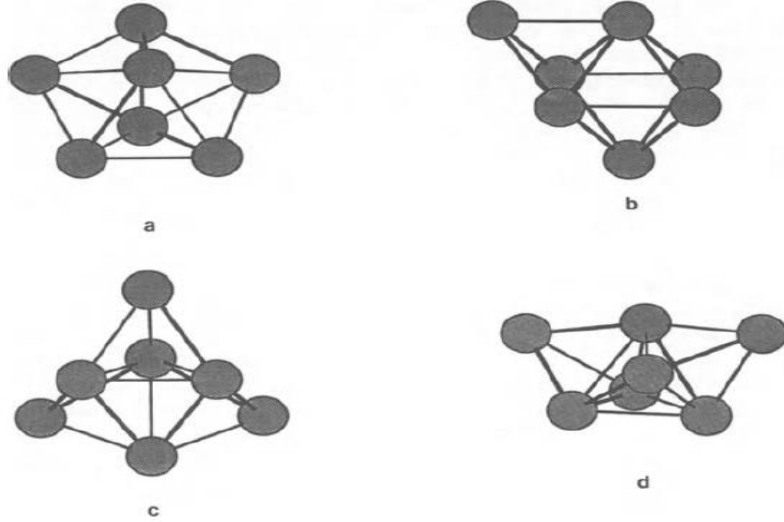
Geniş İyon kümeleri (Clusterlar) (5000 atom)

Büyük kümeler tipik olarak bir kaç nanometrelik boyutlara sahiptir. Kürelerin yarı çapları 1 ile 50nm arasındadır. Düşük sıcaklık ve basınçta oluşurlar.

4.4. İyon kümeleri ile moleküller arasındaki fark nedir?

Moleküller belirli bileşenler tarafından oluşturulur ve çoğunlukla yapıları bellidir. Bir cluster ise örneğin silikon atomu 3atomlu yada 10 atomlu yada 100 atomlu yada daha fazla atomlu olabilir. Clusterlardaki bu özellikler atomların sayısına bağlıdır ve bundan dolayı çoğu kararlı yapılardır. Belirtmek gerekirse en çok karlı yapılardır. Çoğu Clusterlarda bir yapı diğerlerinden daha fazla kararlı olabilir. Bu durum da yapılarındaki atom sayılarından olduğu düşünülebilir. Örneğin Şekil 4.1'de gösterilen, çok basit iyon kümelerinden Ar_7 atomu yapısında 7 tane argon atomu içerir. Ar_7 'nin düşük sıcaklıklardaki bütün clusterlarının düşük enerjili geometride olduğu farzedilir (Şekil 4.1.a beşgen çift pramit). Daha yüksek sıcaklıklarda iyon kümelerinin bazıları, yapıların

içinde ve yakınlarında bulunabilir.Yani özetlenecek olursa iyon kümeleri moleküllerden bileşen ve yapı olarak farklıdır (Soumya Ganguly Neogi1, Srijeeta Talukder1 and Pinaki Chaudhury).



Şekil 4.2. Dört tane Ar_7 atomunun kararlı yapısı ve diğerleride yedi atomlu clusterlar. a) Beşgen çift piramit, düşük enerjili yapı. b) Yanındaki en düşük enerjili yapı, bir yüzü şapkalı sekizgen (octahedron with one capped face) c) Üçlü yapı, sırasıyla artan enerji, üç yüzü şapkalı dörtdü yapı. d) Dördü arasında da en yüksek enerjili yapı, şapkasız üçgen çift piramit (a bicapped trigonal bipyramid) (Neogi1, Talukder1 and Chaudhury, 2013)

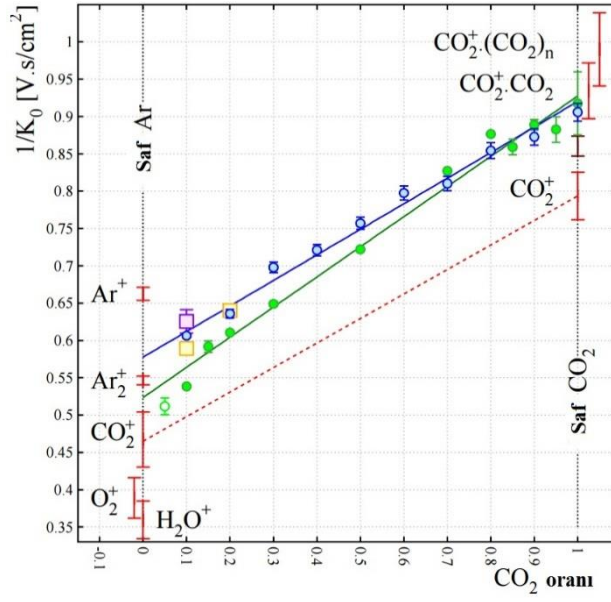
4.5. Cluster İyonlarının Konumlanması:

<ul style="list-style-type: none">Kimyasal bağlı moleküller Kovalent ve iyonik bağ	} }	(0.75-11.1) eV
<ul style="list-style-type: none">Cluster iyonlar İndüklenmiş yükler ile bağlı dipole kuvvetler Bileşenler kimliklerini muhafaza eder.	} }	(0.09-1.7) eV
<ul style="list-style-type: none">van der Waals molecules van der Waals kuvvetleriyle bağlı olanlar Düşük sıcaklıklarda gözlemlenmiş	} }	(0.0009-0.1) eV

(Veenhof 2015)

4.6. Gazli Detektörlerde İyon kümeleri

Gazlı detektörlerde cluster oluşumunu düşünmeden önce sinyale iyonların etki ettiğini sanılıyordu. Ancak CERN RD51 projesi kapsamında yapılan bazı çalışmalar ışığında detektör içerisinde, iyonların problem oluşturdukları bölgelerde, neredeyse hiç basit yapıya sahip iyon olmadığı, birkaç nanosaniye sonunda tamamen iyon kümelerinin var olduğu sonucu ortaya atıldı. İyon kümelerinin büyüklüğü, basınç, sıcaklık ve kullanılan gaz karışımı gibi niceliklerle değişmekle birlikte, iyonun mobilitesinin etkileyerek, ortaya çıkan olumsuz durumların süresini etkilemektedir. Ar/CO₂ gaz karışımı için literatürden alınmış verilerle, mobilitenin tersinin, CO₂ oranına göre çizilmiş olan grafiğe bakıldığında, mobilitesi ölçülen iyonların aslında iyon kümeleri oldukları açıkça görülmüştür.



Şekil 4. 3. Ar-CO₂ karışımına göre düzenlenmiş Blanc diyagramı (Veenhof 2015).

4.7. Difüzyon ve Nernst- Einstein Deklemi

Bu tez çalışmasının“Materyal ve Yöntem” kısmında (2.4) difüzyondan ve (2.4.1) Fick Yasası’ndan bahsedilmiştir. Bu bölümde ise belirtilen yasaları kullanarak iyon kümelerinin gazlı detektörler içerisindeki hareketine difüzyonun etkisini göstermek için yapılan matematiksel hesaplamalar yer alacaktır.

İyonun detektör içerisindeki davranışını incelerken incelerken şüphesiz difüzyon önemli bir parametre olarak göze çarpar. Parçacıkların akışkanlar içerisindeki difüzyonunun bilimsel olarak hikayesi 1855 yılında Dr. A.Fick ile başlar. Fick yasası olarak bilinen aşağıdaki denklem bu konudaki gelişmelere zemin hazırlar. Fick yasası temel olarak;

$$U(t) = DU_{xx} \quad (4.1)$$

yazılabilir. Burada D difüzyon katsayısı olmakla birliktebu diferansiyel denklemin çözülebilmesi için Gauss Fonksiyonu “Ansatz” olarak kullanılmıştır;

$$U(t, x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)s(t)}} \exp\left(\frac{(-1)}{2}\left(\frac{x}{s(t)}\right)^2\right) \quad (4.2)$$

U_{xx} ifadesi $U(t)$ nin ikinci türevi olarak bilinmelidir ve burada $s(t)$ iyon bulutunun boyutunun değişiminin bir fonksiyonu olarak algılanmalıdır. Denklem (4.3.2)'de zamana göre birinci türev alındığında;

$$U \frac{d(x,t)}{dt} = -\frac{s'(t)}{(s(t)^2)} \exp\left(\frac{(-1)}{2}\left(\frac{x}{s(t)}\right)^2\right) + (x)^2 \frac{(s'(t))}{(s(t))^5} \exp\left(\frac{(-1)}{2}\left(\frac{x}{s(t)}\right)^2\right) \quad (4.3)$$

zamana göre bir kez daha türev alındığında ise;

$$\begin{aligned} \frac{U^2(x, t)}{dt^2} &= \exp\left(\frac{(-1)}{2}\left(\frac{x}{s(t)}\right)^2\right) \left(\frac{(2s'(t))}{(s(t))^3} - \frac{(s(t)s''(t))}{(s(t))^3} \right) \\ &\quad + \exp\left(\frac{(-1)}{2}\left(\frac{x}{s(t)}\right)^2\right) \left(\frac{((x^2)(s'(t))^2)}{(s(t))^6} \right) \\ &\quad + \exp\left(\frac{(-1)}{2}\left(\frac{x}{s(t)}\right)^2\right) \left(\frac{((x^2)(s''(t)s(t)))}{(s(t))^6} - \frac{((5x^2)s'(t))}{(s(t))^6} \right) \\ &\quad + \exp\left(\frac{(-1)}{2}\left(\frac{x}{s(t)}\right)^2\right) \left((x^4) \frac{((s'(t))^2)}{((s(t))^9)} \right) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Eşitliğin her iki tarafında (4.3.4) $\exp\left(\frac{-1}{2}\right)\left(\frac{x}{s(t)}\right)^2$ bölünür. Çünkü $\exp\left(\frac{-1}{2}\right)\left(\frac{x}{s(t)}\right)^2$ asla sıfır olamaz. Bir sonraki aşamada ise $s'(t) = \frac{D}{s(t)}$ ve $s(t)s'(t) - D$ denklemlerinden yola çıkarak elde edilen (4.3.4) denkleminin birinci dereceden diferansiyel denklem ile $\frac{dy}{dt} = ky$ çözüm arandığında:

$$\left. \begin{aligned} y' &= \frac{D}{y} \frac{D}{y} = \frac{D}{(t^n)} = D \cdot (t)^{-n} \\ y' &= nt^{(-n)} \frac{D}{y} = Dt^{(-n)} \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

fonksiyonu elde edilir.

Sonuçta yapılan matematiksel işlemler sonrasında diferansiyel denklemin zaman bağılı çözümü;

$$S(t) = \sqrt{2Dt} \quad (4.6)$$

Şeklinde elde edilir. Bu çözüm konuma göre;

$$S(r) = 2\sqrt{\frac{D}{v}} \quad (4.7)$$

olarak elde edilir. Bu iki denklem literatürde birbirinden bağımsız olarak defalarca kullanılmıştır. Ancak birlikte ilişkilendirilerek kullanıldığına literatürde rastlanılmadığı belirtilmek üzere ilk defa bu çalışmada kullanıldığı belirtilmelidir. Bu noktada “Difüzyon” için literatürde bir kavram karmaşası söz konusudur. Kimya ve Akışkanlar Mekaniği gibi bilimlerin literatüründe difüzyon katsayısı olarak, Denklem 4.3.7 deki “D” değeri ele alınmaktadır. Teorik Parçacık Fiziği literatüründe ise $\left(\sqrt{\frac{2D}{v}}\right)$ terimi difüzyon katsayısı olarak kabul edilmektedir. Gazların difüzyonu ile ilgili bilimsel

çalışmalar ise 1899 yılında J. S. Townsend ile başlar. Kendisi mobilite ile difüzyonun orantılı fiziksel nicelikler olduğunu matematiksel ve deneysel olarak ortaya koymuştur. Bugün Einstein-Nerst adıyla bilinen ve bu çalışmada kullanılan denklem, aslında Einstein'den 20 yıl kadar önce Nerst tarafından keşfedilmiştir. Bu denklem 4.3.7 Sutherland tarafından dikkate alınarak, termal difüzyon katsayısı için aşağıdaki denkleme ulaşılması elzemdir. Denklem 4.3.7 dikkate alınarak mobilite;

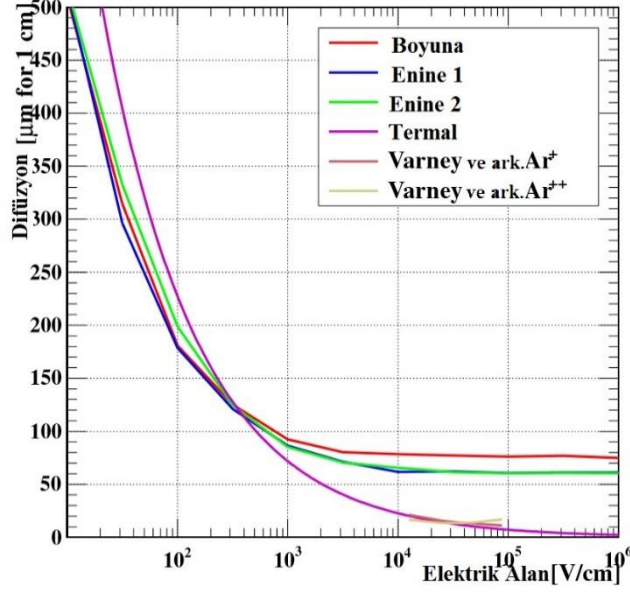
$$\mu = \frac{D}{k_B T} \quad (4.8)$$

olarak yazılabilir. Denklem 4.3.8 dikkate alınarak difüzyon katsayısı,

$$\sqrt{\frac{2k_B T}{E}} \quad (4.9)$$

olarak elde edilir. Sonuç olarak bu denklem termal difüzyon katsayısı olarak bilinir. Bu denkleme dayanarak elektrik alanın artması durumunda difüzyonun azalması gerektiği söylenebilir. Bu durum Şekil 4.2'yi oldukça iyi açıklamaktadır. Bu spektrumda görüleceği üzere, daha yüksek elektrik alanlarının uygulandığı durumlarda, difüzyon süreç üzerindeki hakimiyetini kaybetmekte, spektrum Maxwell-Boltzmann dağılımından sapmaktadır. Şekil 4.2'de üzerine çalışılan Class'dan elde edilen Monte-Carlo yöntemi ile üretilmiş enine ve boyuna difüzyon verilerinin Einstein-Nerst denklemi ile karşılaştırılması gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi elektrik alanın şiddetinin artmasıyla enine ve boyuna difüzyon, Einstein-Nerst denklemi ile örtüşecek şekilde azalmaktadır. Denklem 4.19'a göre difüzyon ile yayılan iyon bulutunun boyutları zamanla artmaktadır. Elektrik alan şiddetinin artması durumunda, iyonların elektrik alan yönünde hızları Şekil 4.1'de görüldüğü gibi artacak, dolayısıyla iyon bulutunun katod levhaya ulaşma süresi azalacaktır. Bu durum iyon bulutunun difüzyon ile yayılma süresinin kısalması dolayısıyla difüzyonun azalması anlamına gelir. Elektronlarda olduğu gibi iyonlar içinde difüzyon kullanılan ikincil (quencher) gazın cinsine, ya da başka bir deyişle iyonun ilerlediği ortamda bulunan gaz karışımının cinsine ve karışım oranına kesinlikle bağlıdır. Çünkü iyonlar ve elektronlar elektrik

alandanda sürüklenirken bazı cins gazlarla esnek çarpışmalar yaparken, özellikle moleküler gazlar olmak üzere bazıları ile esnek olmayan çarpışmalar yaparlar.



Şekil 4. 4. Enine ve boyuna difüzyonun Einstein-Nernst denklemi ile kıyaslanması.

Bu durum kesinlikle elektronun olduğu gibi iyonun difüzyonunu dolayısıyla mobilitesini de etkiler. Ancak bu grafikte göze çarpan bir husus var ki; Monte-Carlo Yöntemi kullanılarak modellenen fiziksel durumla uyuşmamaktadır. Viehland ve Mason 1953 yılında yayınladıkları bir makalede boyuna ve enine difüzyon için bir model ortaya koymuş ve bu difüzyonlar için Einstein-Nernst denklemini bazı parametreler ile geliştirerek difüzyon denklemleri ortaya atmışlardır. Bu difüzyon denklemleri aşağıdaki gibidir;

$$D_{boyuna} = \frac{\mu}{q} k_B T_{boyuna} \left(1 + \gamma_{boyuna} \frac{d \ln K}{d \ln \left(\frac{E}{N} \right)} \right) \quad (4.10)$$

$$D_{enine} = \frac{\mu}{q} k_B T_{enine} \left(1 + \gamma_{enine} \frac{d \ln K}{d \ln \left(\frac{E}{N} \right)} \right) \quad (4.11)$$

denklemlerde yer alan termal enerji ifadeleri için;

$$k_B T_{boyuna} = \frac{k_B T + (5m - (2m - M)A^*)}{5m + 3MA^*} M v^2 \quad (4.12)$$

$$k_B T_{enine} = \frac{k_B T + ((m + M)A^*)}{5m + 3MA^*} M v^2 \quad (4.13)$$

kullanılarak, bu çalışma kapsamında düşük elektrik alan değerleri için, boyuna difüzyonun enine difüzyondan yaklaşık iki kat daha fazla olması gerektiği hesaplanmıştır. Bu anlamda Monte-Carlo yöntemi kullanılarak elde edilen hesaplamada bazı parametrelerin eksikliği göze çarpmıştır. Literatürde kullanılan iki türlü difüzyon katsayısının mevcut olduğundan bahsedilmişti ve Yüksek Enerji Fiziği'nde kullanılan difüzyon katsayısı ile ilgili açıklamalar yapıldı. Ancak farkın ortaya konulması açısından diğer difüzyon katsayısı hakkında da tartışılması yerinde olacaktır. Öncelikle bu difüzyon katsayısının mobilite ile dolayısıyla elektrik alan ile doğru orantılı olarak değiştiğinin belirtilmesi gerekir. Ayrıca birimi de $(\frac{m^2}{s})$ Yüksek enerji fiziğinde kullanılan difüzyon katsayısının biriminden (\sqrt{cm}) farklıdır. Yüksek enerji fiziğinde kullanılan difüzyon katsayısı literatürde (D) ile sembolize edilirken, bunun dışında literatürde kullanılan difüzyon katsayısı (δ) ile ifade edilir. Bu iki farklı katsayının bu çalışma içerisinde ele alınmasının sebebi, yararlanılan literatürde bu katsayı farklı formlarda kullanılmış olup birbirine dönüştürülebilmesi için her ikisinde tanımlanması şarttır. Einstein denkleminin temelinde yatan düşünce, Difüzyon katsayısının (D) mobilite ile doğru orantılı olarak değiştiği ifadesidir. Bu düşünceye bir temel olması açısından bu çalışma kapsamında aşağıdaki gibi bir ispata yer verilmiştir. İyonun kinetik enerjisi için,

$$\frac{1}{2} m v_{ani}^2 = \frac{1}{2} k_B T \quad (4.14)$$

eşitliğin her iki tarafı iyonun yükü (q) ile çarpılır ve iyon mobilitesi (μ) ile bölünürse,

$$\frac{\mu}{q} m v_{ani}^2 = \frac{\mu}{q} k_B T \quad (4.15)$$

mobilitenin elektrik alan (E) ile ilişkisi;

$$\mu = \frac{v_{ani}}{E} \quad (4.16)$$

ve anlık hız yerine

$$v_{ani} = \frac{qE\tau}{m} \quad (4.17)$$

kullanılarak;

$$v_{ani}^2 \tau = \frac{\mu}{q} k_B T \quad (4.18)$$

eşitliğineulaşılır.

$$v_{ani} = \frac{\lambda}{\tau} \quad (4.19)$$

ifadesi kullanılarak;

$$v\tau = \frac{\mu}{q} k_B T \quad (4.20)$$

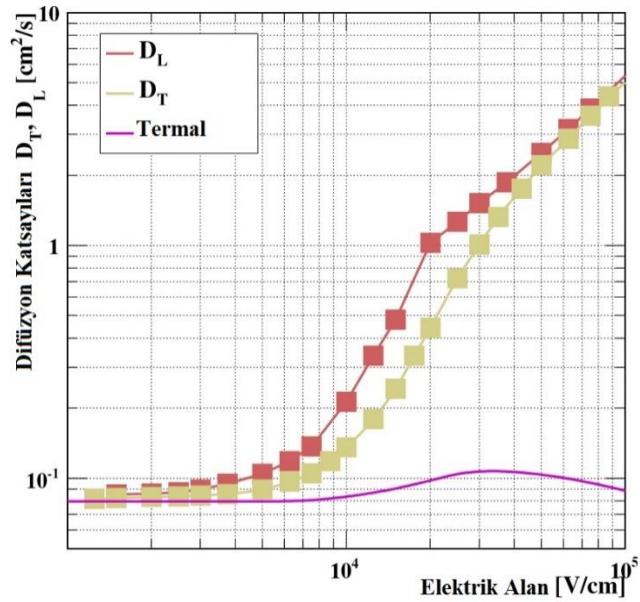
difüzyon katsayısına ulaşılır ve burada $v\tau = D$ deriz. Görüldüğü üzere difüzyon katsayısı mobilite ile doğru orantılıdır.

Difüzyon katsayısı (D) için, literatürden elde edilen bazı değerler ile difüzyon katsayısının (D) elektrik alanla değişimi ve thermal difüzyon katsayısı ile bu değerlerin kıyaslanması için bu çalışma kapsamında Şekil 4.3 hazırlanmıştır.

Görüldüğü gibi deneysel veriler de Einstein-Nerst denklemini doğrulamaktadır. Einstein-Nerst denklemi düşük elektrik alan altında iyonun difüzyonunu oldukça iyi açıklamaktadır. Varney bu denklemin, iyonun yükü değiştiğinde nasıl davrandığı ile ilgili bir çalışma yapmış, A^+ ve A^{++} iyonlarının Argon gazı içerisinde difüzyon katsayısını (δ) ölçtüğü bu çalışmada Einstein denkleminin A^+ için alınan verilerle düşük elektrik alanlarda örtüştüğünü ancak A^{++} için alınan verilerin düşük elektrik alanlarda Einstein denkleminde elde edilen difüzyon katsayısından daha düşük kaldığını göstermiştir.

Yüksek elektrik alanlarda Einstein denkleminin ekstra parametrelere ihtiyaç duyduğundan daha önce bahsetmiş olduğumuzdan bu konuda tartışılmayacaktır. Ancak düşük elektrik alan değerleri için söz konusu durum Şekil 4.4'de görülebilir.

Görüldüğü üzere Einstein denlemine yük (q) parametresinin eklenmesi durumunda deneysel veriler ile anlamlı bir şekilde örtüşmektedir.



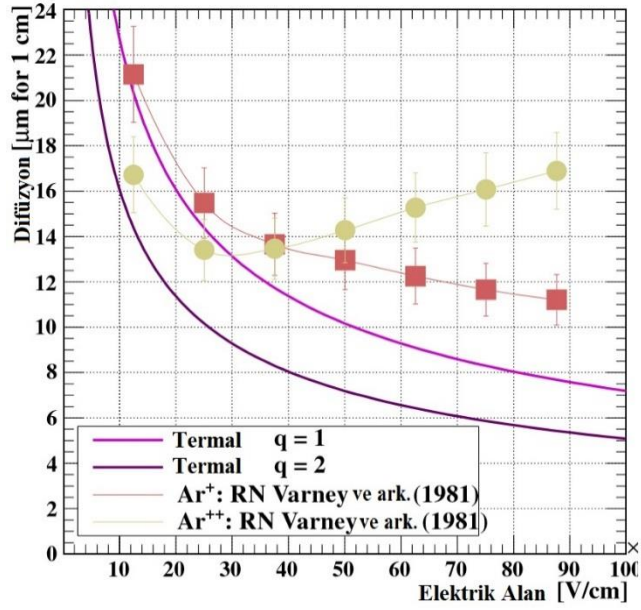
Şekil 4.5. Yüksek Enerji Fiziği dışında kullanılan difüzyon katsayısının (D) elektrik alanla değişimi ve termal difüzyon katsayısı ile kıyaslanması

4.8. Genelleştirilmiş Einstein denklemi

Literatür gözden geçirildiğinde difüzyonun tanımı için sıklıkla yer verilen bir denklemlerle karşılaşılır. Bu denkleme göre difüzyon, bir ortamda ilerleyen parçacığın hiç bir etkileşme yapmadan hareket edebileceği mesafenin (λ) karesi ile doğru, bu mesafeyi alabileceği zaman (τ) ile ters orantılıdır.

$$\text{Difüzyon} \sim \frac{\lambda^2}{\tau} \quad (4.21)$$

Elektrik alan etkisi altında, gaz ortamında sürüklenen bir iyon için, iyonun sürüklenme hızının uygulanan elektrik alana bağlı değişimi hakkında düşünüldüğünde iki farklı duruma ulaşılabilecektir. Bunlardan ilki; sürüklenme hızının, elektrik alan arttıkça sabit kaldığı durumdur. Anlık hız ile sürüklenme hızının karıştırılmaması gerekir.



Şekil 4. 6. Difüzyon katsayısının (σ) elektrik alanla değişimi

Sürüklenme hızı anlık hızların bir ortalaması olarak düşünülmelidir. Bu durumda çarpışmaların çok sık olduğu, yani ortalama serbest yolun (λ) oldukça küçük, serbest zamanın (τ) ise oldukça kısa olduğu bir durumda sürüklenme hızı sabit kalabilir. Dikkat edileceği üzere bu durum difüzyonun azaldığı durumdur. İkinci bir durum olarak sürüklenme hızının elektrik alanın artması ile arttığı düşünülebilir. Bu durum ise çarpışmaların çok sık olmadığı, yani ortalama serbest yolun (λ) oldukça büyük, serbest zamanın (τ) ise oldukça uzun olduğu bir durumu işaret etmektedir. Yukarıdaki bilgiler ışığında difüzyonun bu durum için difüzyon artmış olmalıdır. İkinci durum bir sürüklenme hızının elektrik alanla değişimi bir grafik olarak düşünüldüğünde, grafiğin eğiminin difüzyonla doğru orantılı olduğu söylenebilir.

$$D \propto \frac{dv_s}{dE} \quad (4.22)$$

Daha önce de tartışıldığı üzere, anlık hızın, sürüklenme hızından farklarının ortalaması da difüzyonu doğrudan etkiler.

$$D \propto \overline{(-v_d)^2} \quad (4.23)$$

Mobilitenin tanımından yola çıkarak;

$$v_s = \mu E \quad (4.24)$$

yazılabilir. Bu durumda Denklem 4.22

$$\frac{dv_s}{dE} = \frac{d\mu(E)}{dE} E + \mu(E) \quad (4.25)$$

Ayrıca daha önce yapılan açıklamalar sonucunda,

$$\overline{(v - v_d)^2} = \frac{k_B T_{//}}{m} \quad (4.26)$$

yazılabilir. Böylece difüzyon için;

$$D = \left(\frac{d \mu(E)}{dE} E + \mu(E) \right) \left(\frac{k_B T_{//}}{m} \right) \quad (4.27)$$

elde edilmiş olur ki, Bölüm 4.3'de tartışıldığı üzere, difüzyonun $\left(\frac{\text{uzunluk}^2}{\text{zaman}} \right)$ boyutunda olduğu hatırlanarak boyut analizi yapıldığı taktirde yukarıdaki ifadenin ilk teriminin kütle ile çarpılıp yük ile bölünmesi gerekir. Zaten bu denklemi kullanarak Sklerrud, 1976 yılında, Helyum, Neon, Argon, Hidrojen ve Nitrojen gazlarının difüzyon katsayıları hakkında teorik hesaplamalar yapmış ve literatürde rastlanan deneysel veriler ile kıyaslamıştır. Bu denklemleri kullanarak boyut problemini ortadan kaldırmak için

Sklerrud, $\frac{dv_s}{dE}$ yerine $\frac{dv_s}{da}$ terimini kullanmayı tercih etmiştir.

Dolayısıyla Denklem 4.27 aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$D = \frac{k_B T_{//} \mu(E)}{q} \left(\frac{1 + d \log \mu(E)}{d \log E} \right)$$

elde edilir. (Kalkan 2014)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Gazlı detektörler için yazılmış ve bilim dünyasında kabul görmüş bir çok simülasyon programları ve bilim insanları, günümüzde yapılan bazı çalışmaların sonuçları ortaya çıkmadan önce, gazlı detektörler içerisinde elektronlar ve iyonların roller üzerine hüküm kurmaktaydılar. Ancak günümüzdeki gelişmeler, gazlı detektörler içerisinde elektronlar ve iyon kümelerinin olduğunu ortaya koymuştur.

Bu tez çalışması kapsamında, iyon difüzyonundan yola çıkılarak, daha önce kanıtlanmış olan, detektör içerisinde basit iyonların değil iyon kümelerinin var olduğunu, difüzyondan yola çıkarak ortaya koymaktır. Bu amaca yönelik çalışmaların bir kısmı tamamlanmış ve bu çalışma içerisinde yerini bulmuştur. Sonuçta bilim dünyasının paylaşımına şimdilik sunulmasa bile, çalışma grubumuz tarafından Garfield⁺⁺ simülasyon programı altında çalışarak, tüm hesaplamalara iyon kümelerinin etkisini de katacak bir alt program hazırlanagelmektedir. Bu alt programın difüzyon ile ilgili ilk testleri ve sonuçları ile ilgili tartışmalar yine bu çalışmada yerini bulmuştur.

KAYNAKLAR

Ames, James. Lecture 7 Chem 107B. University of California, Davis.(2010).

André **Cortez**, Ion Mobility in Ar-CO₂Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas(LIP-Coimbra) Physics Department, University of Coimbra, Coimbra, Portugal(2014)

Atkins PW, "Molecules in motion: The kinetic theory of gases", Physical Chemistry, (Ed: PW Atkins), Oxford Univ. Press, Lond(1993)

Barry BW, "Topical preparations", Pharmaceutics: The Science of Dosage Form Design, (Ed: ME Aulton), Churchill Livingstone, Edinburgh, s. 381-411.(1988)

Chang, Raymond. Physical Chemistry for the Biosciences. Sausalito (CA): University Science Books. p. 311-347.(2005).

Dr.Cemil **ŞENVAR** ,3. Kimyasal Kinetik ve Makro Moleküller (Fizikokimya Cilt:IV ,Marmara Üniversitesi Yayın No:435)(1977)

Dr. Mustafa **Demir**, Anorganik Kimya ve Uygulamalar, MEB Yayınları.

Franklin MR, Franz DN, "Drug absorption, action and disposition", Remington: The Science and Practice of Pharmacy, 29th Ed., (Ed: AR **Gennaro**) Philadelphia College of Pharmacy and Science, s.1098-1126(2000).

Flynn GL, "Dermal diffusion and delivery principles", Encyclopedia of Pharmaceutical Technology, (Ed: J Swarbrick and J Doylan), Marcel Dekker, New York, s. 457-503.(1991)

Florence AT, Atwood D, "Physicochemical properties of drugs in solution", Physicochemical Principles of Pharmacy, 2nd Ed., (Ed: AT Florence and D Atwood), MacMillan Press, London, s. 47-80. (1988)

Gonda I, "Therapeutic aerosols" *Pharmaceutics: The Science of Dosage Form Design*, (Ed: **ME Auiton**), Churchill Livingstone, Edinburgh, s. 341-358. (1988)

İlhan Tapan Parçacık Detektörleri UPHDYO-IX, (10-15 Eylül 2013).

İlkay Türk Çakır, Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi, TAEK, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

John Wiley & Sons, Segal, Irwin. 1975. *Enzyme Kinetics*. Inc. p.931-933.

Laidler, Keith. "The Development of the Arrhenius Equation." *J. Chem. Educ.*, 61 (6), p.494(1984)

J. Klabunde Free Atoms, Clusters, and Nanoscale

Particles, Kenneth, Department of Chemistry, Kansas State University, Manhattan, Kansas(1994)

Kim CJ, "Diffusion", *Advanced Pharmaceutics - Physicochemical Principles*, (Ed:CJ Kim), CRC Press, Washington D.C., s. 341- 408.(2004)

Kalkan Y. et al., "Cluster ions in gas-based detectors", *JINST* 10 P07004(2014)

Logan, S. R. "The origin and status of the Arrhenius Equation." *J. Chem. Educ.*, 59 (4), p 279(1982)

Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Kimya Teknolojisi Hız Kontrolü, ANKARA, (2007).

M. MeotNer and F.H. Field, *J. Chem. Phys.*, 66 4527(1977)

S.H. Linn and C.Y. Ng, *J. Chem. Phys.* 75 4921(1981)

M. MeotNer and F.H. Field, *J. Chem. Phys.*, 66 4527(1977)

Martin A, Bustamante P, Chun AHC, "Drug product design" Physical Pharmacy, 4,h Edt, (Ed: **A Martin, P Bustamante**, AHC Chun), Lea-Febiger, London, s. 512-555.(**1993**)

Pınar **Ece**, Kimyasal Deneyleyler, Hacettepe Üniversitesi Lisans Tamamlama Tezi, ANKARA, (**2007**)

Rob **Veenhof**, RD51,Collaboration Meeting, Cern, Switzerland.(**2015**)

Rob **Veenhof**, Simulating Gas-Based Detectors, RD51 collaboration and Uludağ university, Bursa, Turkey,(**2014**)

S.H. **Linn** and C.Y. Ng, J. Chem. Phys. 75 4921(**1981**)

Soumya Ganguly **Neogi1**, Srijeeta Talukder1 and Pinaki Chaudhury1
Department of Chemistry, University of Calcutta, 92, A.P.C. Road, Kolkata, 700 009, India,(**2013**)

Yalçın **Kalkan** Gazlı Detektörler İçinde İyonların Davranışları ve Etkileri Bitirme Tezi Semineri(**2015**)

http://www.e-kutuphane.teb.org.tr/pdf/tebakademi/modern_farmasotk/10.

<http://link.springer.com/article/10.1007/s11224-013-0360-8/fulltext.html>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuğba ÖZDEMİR
Doğum Yeri ve Tarihi : Düzce / 23.08.1989
Yabancı Dili : İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Düzce (Yabancı Dil Ağırlıklı) Lisesi
Lisans : Dumlupınar Üniversitesi
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi
İletişim (e-posta) : tugbaozdemir238@gmail.com