



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RAYLEIGH SAÇILMASINDAN  
FAYDALANARAK GAZLI  
DETEKTÖRLERDE İYONİK KÜME  
BOYUTUNUN TESPİT EDİLMESİ**

**Ayşe Nur MUTLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nükleer Enerji Ve Enerji Sistemleri**

**Aralık-2021**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RAYLEIGH SAÇILMASINDAN  
FAYDALANARAK GAZLI  
DETEKTÖRLERDE İYONİK KÜME  
BOYUTUNUN TESPİT EDİLMESİ**

**Ayşe Nur MUTLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri  
Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Yalçın**

**Aralık-2021**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ayşe Nur MUTLU

Tarih: 30.10.2021

## ÖZET

### RAYLEIGH SAÇILMASINDAN FAYDALANARAK GAZLI DETEKTÖRLERDE İYONİK KÜME BOYUTUNUN TESPİT EDİLMESİ

Ayşe Nur MUTLU

**Muş Alparslan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Yalçın KALKAN**

Gazlı detektörlerde iyonların, detektörün sağlıklı çalışmasına olumsuz etkileri vardır. Elektromanyetik indüksiyon yoluyla sinyale yaptıkları etkiler ve detektör hacminde kümelenerek ortamdaki elektrik alan konfigürasyonunu bozmaları başlıca problemler olarak sayılabilir. Özellikle TPC (Time Projection Chamber) gibi geniş hacimli gazlı detektörlerde bu problem günümüzde bilimsel çevrelerce sıklıkla tartışılmaktadır. Aslında bu problemin çözümü için bazı girişimlerde bulunulmuş olsa da henüz başarılı bir yaklaşıma rastlanmamıştır. Ancak kabul gören bir yaklaşım olarak öncelikle iyonların detektör içerisindeki davranışlarını belirlemek, sorunun çözümü için önemlidir. Literatürde iyonların sinyale etkilerinin olmadığı yönünde yoğun bir kanı mevcutken son zamanlarda bilimsel dergilerde yayınlanan makalelerde, bu iyonların sinyale önemli etkileri olduğu belirtilmiştir. Hatta detektör hacminde birincil elektronların oluşumu sırasında ortaya çıkan bu iyonlar, katoda ulaşmaya kadar iyonik kümeler dönüşürler (Kalkan, 2015).

İyonik kümelerin boyutunu belirlemek için alternatif bir araç olarak, ışık atomları veya fotonlarla saçılma deneyleri göze çarpmaktadır.

Bu çalışmalar, detektör fiziği üzerine çalışmalar yapan bilim insanlarının dikkatlerini iyonlar üzerine çekmiştir ancak iyonların davranışlarını tam olarak açıklamakta yetersiz kalmıştır. Tamamen teorik hesaplamalara dayalı tahminlere dayandırılan iyonik kümelerin boyutları ile ilgili sonuçlar deneysel olarak kanıtlanmaya muhtaçtır. Yapılan bilimsel araştırmalar 1-3 atom veya molekülden oluşan iyonik kümelerin varlığını gösterse de bazı bilim otoriteleri ortamda yüzlerce atom veya molekülün iyonik küme oluşturabileceğini savunmaktadır. Sonuçta, iyonik kümelerin boyutlarının bilinmesiyle, detektör içerisinde oluşturdukları problem hakkında daha kapsamlı bilgi sahibi olunarak, ortaya konulacak çözümlere yön verilecektir.

Bu tez çalışması kapsamında; detektör içerisinde iyonların oluştuğu ve elektrik alan ile sürüklendiği bölgeye lazer ışını gönderilmiştir. Saçılan ışının analiz edilmesi yoluyla (Rayleigh Saçılması) iyonik kümelerin varlığı ve boyutları hakkında deneysel kanıtlar ortaya konulmuştur. Rayleigh saçılması kullanılarak hacim tespiti yapılması uzun süredir kullanılmaktadır. Ancak, bu tezde kullanılacak yöntem ile literatür arasında belirgin farklar vardır. Mesela; oluşan iyonik kümeler vakum yoluyla değil, elektrik alan etkisiyle ilerlemektedir. Oluşan iyonik kümelerin ince bir memeye kanalize edilmesi de mümkün değildir. Problemin çözümü adına literatürde bulunan bu araştırmaların sadece yönteminden faydalanılacaktır. Elde edilmek istenen, gazlı detektörlerin çalışma parametrelerinde (Basınç, sıcaklık, nem oranı, kullanılan gaz karışımı vb.), oluşan iyonik kümelerin boyutları hakkındaki ilk deneysel sonuçları elde etmek ve literatürle paylaşmaktır.

**2021, 51 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Gazlı detektörler, İyonik küme, Moleküler boyut analizi, Rayleigh saçılması

## ABSTRACT

MSc.

### DETERMINATION OF IONIC CLUSTER SIZE IN GAS DETECTORS BY USING RAYLEIGH SCATTERING

Ayşe Nur MUTLU

Muş Alparslan University  
Natural and Applied Science  
Department of Nuclear Energy and Energy Systems

Advisor: Assist. Prof. Yalçın KALKAN

In gas detectors, ions have negative effects on the healthy operation of the detector. The effects on the signal through electromagnetic induction and their clustering in the detector volume and disrupting the electric field configuration in the environment can be counted as the main problems. Especially in large volume gas detectors such as TPC (Time Projection Chamber), this problem is frequently discussed by scientific circles today. In fact, although some attempts have been made to solve this problem, a successful approach has not been found yet. However, as an accepted approach, it is important to first determine the behavior of the ions in the detector for solving the problem. While there is an intense opinion in the literature that ions have no effect on the signal, it has been stated in the articles published in scientific journals recently that these ions have significant effects on the signal. In fact, these ions, which emerge during the formation of primary electrons in the detector volume, turn into ionic clusters until they reach the cathode (Kalkan, 2015).

As an alternative tool for determining the size of ionic clusters, scattering experiments with light atoms or photons stand out.

These studies attracted the attention of scientists working on detector physics on ions, but they were insufficient to fully explain the behavior of ions. The results regarding the sizes of ionic clusters, which are based on estimations based purely on theoretical calculations, need to be proven experimentally. Although scientific researches show the existence of ionic clusters consisting of 1-3 atoms or molecules, some scientific authorities argue that hundreds of atoms or molecules can form ionic clusters in the environment. As a result, by knowing the sizes of ionic clusters, more comprehensive information about the problem they create in the detector will be given, and the solutions to be put forward will be directed.

Within the scope of this thesis; A laser beam was sent to the area in the detector where ions were formed and entrained by the electric field. Experimental evidence for the existence and size of ionic clusters has been provided by analyzing the scattered beam (Rayleigh Scattering). Volume determination using Rayleigh scattering has been used for a long time. However, there are significant differences between the method to be used in this thesis and the literature. For example; The ionic clusters formed do not move by vacuum, but by electric field effect. It is also not possible to channel the formed ionic clusters into a thin nozzle. In order to solve the problem, only the method of these studies in the literature will be used. The aim is to obtain the first experimental results about the dimensions of the ionic clusters formed in the operating parameters of gas detectors (pressure, temperature, humidity, gas mixture used, etc.) and to share them with the literature.

2021, 51 Pages

**Keywords:** Gas detectors, Ionic cluster, Molecular size analysis, Rayleigh scattering.

## TÜBİTAK'A TEŞEKKÜR



Tez çalışmam kapsamında kullandığım cihaz, teçhizat, sarf malzemesi vs. gibi ihtiyaçlar, tez danışmanım Dr. Yalçın KALKAN tarafından yürütülen ve tez çalışmalarım süresince bursiyer olarak destek aldığım Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 3501 Kariyer Geliştirme Programı çerçevesinde desteklenen 120F026 numaralı “Rayleigh saçılmasından faydalanarak gazlı detektörlerde iyonik küme boyutunun tespit edilmesi.” isimli araştırma projesi kapsamında karşılanmıştır.

Bilimsel araştırmalarım ve kariyerime yaptığı bu eşsiz katkılarından dolayı TÜBİTAK'a sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Ayşe Nur MUTLU

## **ÖNSÖZ ya da TEŞEKKÜR**

“Rayleigh saçılmasından faydalanarak gazlı detektörlerde iyonik küme boyutunun tespit edilmesi.” isimli araştırma tezimi boyunca benden desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yalçın Kalkan’a, bu süre boyunca yalnız bırakmayıp maddi manevi destekleriyle yanımda olan kız kardeşlerime teşekkür ederim.

Ayşe Nur MUTLU  
MUŞ-2021



## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER .....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1 Radyasyon Dedektörleri .....	3
2.1.1 Sintilasyon (Parıldama) Dedektörleri .....	3
2.1.2 Yarıiletken Dedektörler .....	4
2.1.3 Kalorimetreler.....	5
2.1.4 Bulut/Kabarcık (Bubble) Odaları .....	6
2.1.5 Kıvılcım (Spark) Odaları .....	6
2.1.6 Nötron Dedektörleri.....	7
2.1.7 Cerenkov Dedektörleri.....	7
2.1.8 Gazlı Parçacık Dedektörleri.....	8
2.2 İşlemsel Operasyon (Operational Amplifier) devreleri .....	19
2.3 İyonik kümeler.....	20
2.3.1 İyonik kümelerin gazlı dedektörlerde oluşturduğu problemler .....	21
2.4 Moleküler boyut analizinde kullanılan yöntemler .....	22
2.4.3 Rayleigh Saçılması Yöntemi .....	24
2.5 55Fe Spektrumu .....	27
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>28</b>
3.1 Tasarlanan Deneye Uygun GEM (Gas Electron Multiplier) Detektörünün Yapılması.....	28
3.2 Gaz kutusu ve içeriğinin hazırlanması.....	29
3.3 Rayleigh saçılması yöntemi ile parçacık boyutunun belirlenmesi deneyi.....	31
3.1 Sinyalin Elektriksel Gürültüden Arındırılması .....	31
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA .....</b>	<b>32</b>
4.1 Argon – Karbondioksit Karışımı İçin Elde Edilen Sonuçlar .....	32
4.1.1 Darbe frekansı 1 KHz olan lazer ve sürüklenme bölgesi gerilim 300 Volt olan GEM dedektörü ile gözlenen Rayleigh Saçılması sinyalleri ve gözlenen sinyal şiddetleri (peak to peak) .....	32
4.1.2 Darbe frekansı 1 KHz olan lazer ve sürüklenme bölgesi gerilim 90 Volt olan GEM dedektörü ile gözlenen Rayleigh Saçılması sinyalleri ve gözlenen sinyal şiddetleri (peak to peak) .....	35
4.1.3 Darbe frekansı 5 KHz olan lazer ve sürüklenme bölgesi gerilim 300 Volt olan GEM dedektörü ile gözlenen Rayleigh Saçılması sinyalleri.....	37
4.2 Saf Karbondioksit İçin Elde Edilen Sonuçlar .....	38
4.3 Saf Argon İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	41

4.4 Saf Nitrojen (Azot) İçin Elde Edilen Sonuçlar .....	42
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>45</b>
5.1 Sonuçlar .....	45
5.2 neriler .....	47
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>48</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>52</b>



## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

Ar	:	Argon
Ar <sup>+</sup>	:	Uyarılmış durumdaki argon atomu
CO <sub>2</sub>	:	Karbondiyoksit
<sup>55</sup> Fe	:	Demir 55
I <sub>0</sub>	:	Gelen ışığın şiddeti
N	:	Azot
n	:	Ortamın kırıcılık indisi
n <sub>0</sub>	:	Gazın yoğunluğu
Ne(x)	:	X yolu boyunca üretilen elektron sayısı
N	:	Işığın üzerinden saçıldığı cisim sayısı
N <sub>C</sub>	:	İyonik kümenin yoğunluğu
pm	:	Pikometre
P <sub>0</sub>	:	Ortamın gaz basıncı
R	:	Cismin çapı
R <sub>C</sub>	:	İyonik küme yarıçapı
S <sub>RS</sub>	:	Rayleigh saçılmasından alınan sinyalin şiddeti
Xe	:	Zenon
µm	:	Mikrometre
µs	:	Mikrosaniye
λ	:	Ortama gönderilen lazer ışığının dalga boyu
α	:	Kutuplanabilirlik

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1 Bir sintilatörün parıldaması, (M.Kiss,2018).....	3
Şekil 2. 2 Yarı iletken dedektörlerde sinyalin oluşumu (Bor, 2020).....	4
Şekil 2. 3 N-tipi ve P-tipi yarı iletken dedektörlerin yapılarının şema ile gösterimi.....	5
Şekil 2. 4 CERN dedektör müzesinde bulunan Buble Chamber .....	6
Şekil 2. 5 Şekil 2. 5 Işık Hüzmesi Detektörü proton–antiproton çarpışması verileri .....	7
Şekil 2. 6 Cerenkov ışınması .....	8
Şekil 2. 7 Paralel plakalı gazlı dedektör ve çalışma prensibi .....	11
Şekil 2. 8 Orantılı sayaç ve çalışma süreci şeması .....	11
Şekil 2. 9 Çığ oluşumu .....	12
Şekil 2. 10 Gaz çarpanının elektrik alan ile değişimi .....	12
Şekil 2. 11 Gazlı dedektörlerin çalışma bölgeleri <u>Geiger-Müller Bölgesi</u> .....	14
Şekil 2. 12 GEM dedektörünün temel yapısı ve çalışma prensibi.....	15
Şekil 2. 13 GEM dedektörü içerisinde oluşan elektrik alan çizgileri .....	16
Şekil 2. 14 GEM yaprağı üzerinde bulunan delikler .....	16
Şekil 2. 15 Micromegas dedektörünün çalışma prensibi.....	17
Şekil 2. 16 Philips (şimdi Photonis) tarafından 1956'da tanıtılan, dünyanın ilk Hızlı PMT'sine dayanan bir foto-çoğaltıcının bileşenleri .....	18
Şekil 2. 17 Temel OPAMP sembolü ve besleme uçları .....	19
Şekil 2. 18 Sol: %95 Ar - %5 CO <sub>2</sub> gaz karışımında, 1070 Pa basınç altında iyonik kümelerin hesaplanmış oranları. Sağ: Ar-CO <sub>2</sub> gaz karışımı için Blanck Diyagramı .....	21
Şekil 2. 19 Işığın homojen olmayan bir ortamdan geçerken meydana gelen Rayleigh saçılmasının temsili.....	24
Şekil 2. 20 Rayleigh saçılması temsili.....	24
Şekil 2. 21 Demir-55 spektrumu.....	27
Şekil 3. 1 Üç boyutlu olarak deneyin temsili.....	28
Şekil 3. 2 Gaz kutusu içeriği ve deneyin temsili .....	30
Şekil 4. 1 %80 Ar - %20 CO <sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış Rayleigh Saçılma sinyalleri ....	33
Şekil 4. 2 %80 Ar - %20 CO <sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış sinyal şiddetlerinin (peak to peak) tekrarlama sıklığı.....	35
Şekil 4. 3 %80 Ar - %20 CO <sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 90 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış Rayleigh Saçılma sinyalleri ....	35
Şekil 4. 4 %80 Ar - %20 CO <sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 90 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış sinyal şiddetlerinin (peak to peak) tekrarlama sıklığı.....	37
Şekil 4. 5 %80 Ar - %20 CO <sub>2</sub> karışımı kullanılarak 5 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış sinyal şiddetlerinin (peak to peak) tekrarlama sıklığı.....	38

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 2. 1</b> Gazlı dedektörlerde kullanılan gazlar ve ilgili parametreler.....	8
<b>Tablo 4. 1</b> %80 Ar - %20 CO <sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate)) .....	34
<b>Tablo 4. 2</b> %80 Ar - %20 CO <sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 90 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate)) .....	36
<b>Tablo 4. 3</b> %80 Ar - %20 CO <sub>2</sub> karışımı kullanılarak 5 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate)) .....	38
<b>Tablo 4. 4</b> Saf CO <sub>2</sub> kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate)).....	40
<b>Tablo 4. 5</b> Saf Argon kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate)).....	42
<b>Tablo 4. 6</b> Saf Nitrojen (Azot) kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate)).....	43
<b>Tablo 5. 1</b> Argon Ar <sup>+</sup> .(Ar)N iyonik kümelerinin hesaplanmış van der Waals yarıçapları .....	45
<b>Tablo 5. 2</b> Argon CO <sub>2</sub> <sup>+</sup> .(CO <sub>2</sub> )N iyonik kümelerinin hesaplanmış van der Waals yarıçapları .....	46

## 1. GİRİŞ

Temel olarak bir gazlı parçacık dedektörünün çalışması ilkesi iyonlaşma prensibine dayanır. Dolayısıyla elektronlar ve iyonların dedektör hacmindeki davranışları dedektörden alınacak sinyali doğrudan etkiler. Aslında tüm atom-altı parçacık dedektörlerinin çalışma prensipleri aynı temele dayansa bile sinyal üretme mekanizmaları göz önüne alındığında, elektronlar ve iyonların karşılıklı etkileşimleri karmaşık olaylar zincirinden ibarettir.

Atom-altı parçacık dedektörlerinde sinyal üretme mekanizmaları ile ilgili literatür araştırmalarında sıklıkla elektronların sinyale ve gaz kazancına olan etkileri ile karşılaşılır. Hatırı sayılır birçok bilimsel yayında iyonların sinyale etkilerinin olmadığı veya ihmal edilebileceğinden bahsedilmektedir. Ancak iyonların dedektör hacminde içerisinde bulunduğu fiziksel süreçler dikkate alındığında, sinyale önemli etkileri olduğu ortaya çıkmaktadır. Nitekim radyasyon dedektörleri için iyon problemi, CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) bünyesindeki bilimsel toplantılar başta olmak üzere dünya genelinde alanda düzenlenen etkinliklerde sıklıkla tartışılan güncel bir konu haline gelmiştir. Özellikle ALICE TPC (Time Projection Chamber) gibi büyük hacimli gazlı dedektörlerin geliştirilmesinde iyon problemi bir kilometre taşı olarak bilim insanlarının karşısında yerini korumaktadır. Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalar, gazlı dedektörlerin çalışma süreçleri içerisinde oluşan iyonların kısa bir süre (birkaç nano-saniye) içerisinde kümeleşerek iyonik kümeler meydana getirdiklerini ortaya koymuştur (Kalkan, 2015). Bu sonuç iyonların dedektör sinyalini önemli ölçüde etkilediği savını güçlendirmiştir ve bu tez çalışması tamamlanana kadar deneysel ispata muhtaçtı.

Her bir iyon ile kaç tane atom veya molekülün bir araya gelerek kümelendiği, iyonik kümelerin gazlı radyasyon dedektörlerinin çalışma süreçlerinde yarattığı problemin boyutları hususunda fikir verecek, problemin çözümüne yönelik devam eden bilimsel çalışmalara yön verecektir. Dedektör teknolojilerinin geliştirilmesinde sıklıkla kullanılan ve çok önemli bir role sahip olan simülasyon çalışmalarında iyon etkisi çoğunlukla ihmal edilmiştir. İyon etkisinin fiziksel süreçler hesaplanırken dikkate alınmamasının önündeki en önemli engel boyutlarının dolayısıyla oluşturdukları elektrik alanın bilinmemesidir. Dolayısı ile bu tez çalışmasının sonuçları, mevcut

simülasyon programlarının güncellenerek iyon etkilerinin sinyale etkilerinin dikkate alınmasının yolunu açacaktır.

Bu tez çalışması gazlı dedektörlerde oluşan iyonik kümelerin boyutlarının deneysel olarak belirlenmesi için literatürde daha önce benzeri ile karşılaşılmamış bir deneysel sistem ve deneysel çalışmaları içerir. Dedektör içerisine dedektör yerleştirmek üzere tasarlanmış bu deneysel çalışmanın sonuçları, Muş Alparslan Üniversitesi'nin araştırmacı üyesi olduğu CERN RD51 iş birliği başta olmak üzere birçok bilimsel uluslararası mecrada yayımlanmış ve tartışılmıştır.

Bu tezin ilgili kısımlarında ayrıntıları açıklanmış olan moleküler boyut analizi yöntemleri içerisinden; sıklıkla kullanılan ve çalışmanın deneysel parametreleri ile uyum sağlayan Rayleigh Saçılması yöntemi seçilerek kullanılmıştır. Bu konuda daha önce yapılmış deneysel çalışmalar ile ilgili ayrıntılı bir literatür araştırmasına "2. Kaynak Araştırması" kısmında yer verilmiştir.

Dedektör içerisine dedektör yerleştirerek Rayleigh Saçılması yöntemi ile gazlı dedektörlerde oluşan iyonik kümelerin boyut analizi için kurulmuş deney düzeneği ve ilgili ayrıntılar "3. Materyal ve Yöntem" başlığı altında verilmiştir.

Son olarak bu tez çalışmasında yapılan deneysel araştırmalar ve bunların literatür bilgileri ile karşılaştırmalı bir değerlendirilmesine "4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma" kısmında yer verilmiş olup bu sonuçlar yapılan değerlendirmeler sonucunda süzülerek "5. Sonuçlar ve Öneriler" kısmında özetlenmiş, bu sonuçlar ışığında gazlı dedektörlerde iyonik küme probleminin çözümüne yönelik bazı öngörüler tartışılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

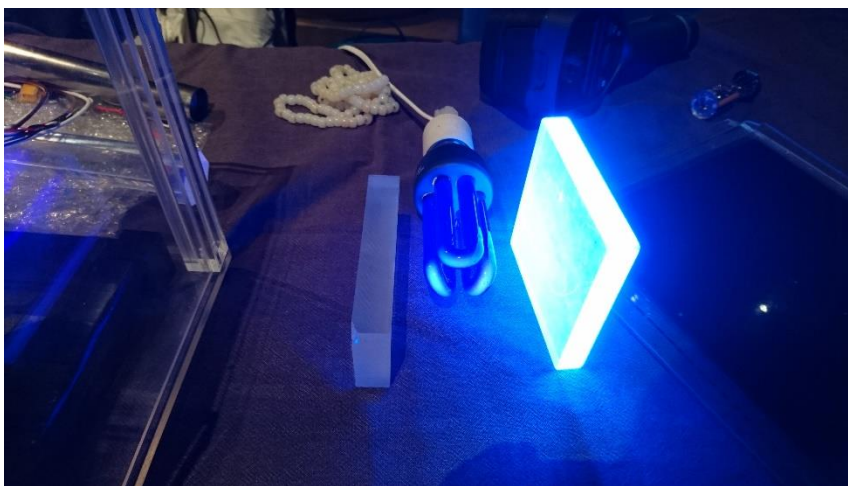
Bu tez çalışmasında kullanılan temel bilgiler hakkında araştırmalar; Radyasyon Dedektörleri, bunların içerisinde Gazlı Dedektörler özelinde, çalışmada kullanılan GEM (Gas Electron Multiplier) ve PMT (Photo Multiplier Tube) dedektörleri, sinyal işlemede kullanılan İşlemsel Operasyon (OPERational AMPlifier) devreleri ve kullanım amaçları, İyonik kümeler, İyonik kümelerin gazlı dedektörlerde oluşturduğu problemler, Moleküler boyut analizinde kullanılan yöntemler ve Rayleigh Saçılması yöntemi başlıkları altında toplanmıştır.

### 2.1 Radyasyon Dedektörleri

Elektromanyetik dalgalar, nükleer reaksiyonlardan sonucu veya parçacık hızlandırıcılarında ortaya çıkan ışınlar ve atom-altı parçacıklar genel olarak radyasyon olarak nitelendirilmektedir. Radyasyon, dedektörler veya dozimetreler ile tespit edilebilir.

#### 2.1.1 Sintilyasyon (Parıldama) Dedektörleri

Herhangi bir radyasyon dedektörü olarak, bir sintilatör (parıldak), iyonlaştırıcı radyasyonla biriken enerjinin bir kısmını ışığa dönüştürmek için kullanılan radyasyonu emici bir malzemedir. Yüklü parçacıklardan oluşan radyasyon, sintilatör ile etkileşime girer ve ortaya ışık çıkar (Rossi, 1952; Faso, 1963).

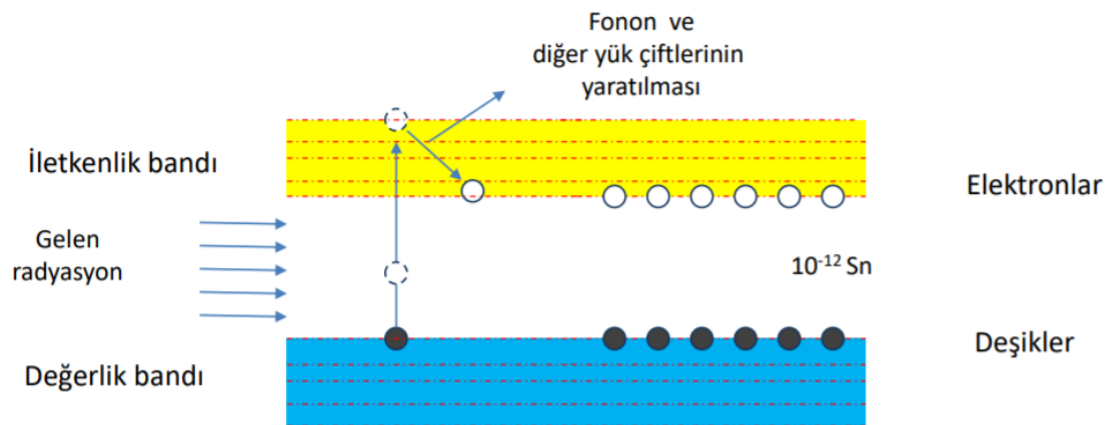


Şekil 2. 1 Bir sintilatörün parıldaması, (M.Kiss,2018)

Yüklü parçacıklar için enerji kaybı ( $-dE/dX$ ), büyük ölçüde parçacığın enerjisi ile orantılıdır. MeV-GeV enerji aralığında gelen parçacıklar için enerji kaybı Bethe-Bloch formülü, aynı zamanda daha düşük ve daha yüksek enerjideki atomik kabuk düzeltmeleri ile tarif edilmektedir. Örnek olarak  $6-8 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa sahip ve parıldak olarak kullanılan ağır malzemeler için, tipik olarak minimum iyonlaştırıcı bir parçacık ile karşılaştığında, santimetre başına parçacığın 10 MeV enerjisini emebilir. Bu değer süreci etkileyen diğer fiziksel parametrelere bağlı olarak 100 kata kadar artabilir (Lecoq, 2020)

### 2.1.2 Yarıiletken Dedektörler

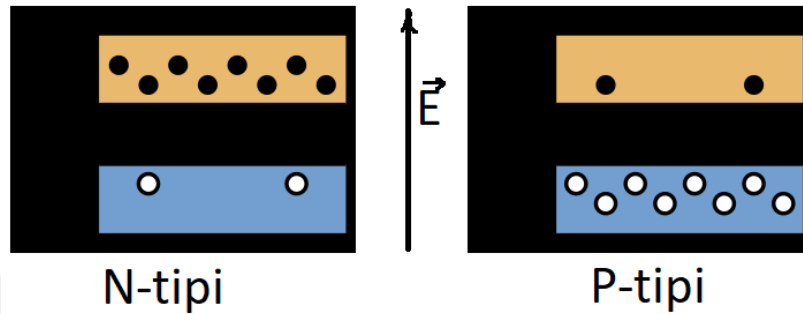
Bir yarı iletken detektörün çalışması, iyonizasyon odasının çalışmasına benzerdir. Bir iyonlaştırma odasında, dedektör hacmine gelen radyasyon, pozitif iyonlar ve elektronlar üretir. Ortamdaki elektrik alan vasıtası ile elektronlar anot elektrota doğru sürüklenirler, böylece sinyal indüklenmiş olur. Yarı iletken bir sayaçta ise, gelen radyasyon, dedektör hacminde iletkenlik bandı ve değerlik bandı arasında elektronlar ve deşikler (hole) çiftleri üretir.



Şekil 2. 2 Yarı iletken dedektörlerde sinyalin oluşumu (Bor, 2020)

Aynı şekilde elektrik alan yoluyla elektronlar sürüklenerek anot levha üzerinde toplanarak sinyal üretilmiş olur. Yaklaşık olarak bir yarı iletken dedektör 3,5 eV bir parçacığı tespit edebilirken, iyonizasyon odası için bu değer 30 eV olarak ortaya çıkar. Bu durum yarıiletken dedektörlerin en önemli avantajı yani enerji çözünürlüğündeki üstünlüğünü ortaya çıkarır. En önemli dezavantajları ise radyasyon hasarından önemli ölçüde etkilenerek kısa zamanda çalışamaz hale gelmeleridir (Ouseph, 1975).

Yarıiletken dedektörler P-tipi ve N-tipi olarak ikiye ayrılır. N tipi yarı iletkenler, üretim sırasında bir elektron donör elemanı ile katkılama sonucunda oluşturulur. N tipi terimi, elektronun negatif yükünden gelir. N tipi yarı iletkenlerde, elektronlar çoğunluk taşıyıcılarıdır ve deşikler azınlık taşıyıcılarıdır. Sıklıkla kullanılan Silikon için N tipi katkılanan (dopand) Fosfor veya Arseniktir. Bir N tipi yarı iletkende, Fermi seviyesi içsel yarı iletkenden daha büyüktür ve iletkenlik bandına değerlik grubundan daha yakındır.



Şekil 2.3 N-tipi ve P-tipi yarı iletken dedektörlerin yapılarının şema ile gösterimi

P-tipi yarı iletkenler, üretim sırasında bir elektron alıcı elemanı ile katkılama sonucunda oluşturulur. P-tipi terimi, bir deşğin pozitif yükünü ifade eder. N tipi yarı iletkenlerin aksine, p-tipi yarı iletkenler elektron konsantrasyonundan daha büyük bir deşik konsantrasyonuna sahiptir. P tipi yarı iletkenlerde, deşikler çoğunluk taşıyıcılarıdır ve elektronlar azınlık taşıyıcılarıdır. Silikon için ortak bir p-tipi katkılanan (dopand) Bor veya Galyumdur. P-tipi yarı iletkenler için Fermi seviyesi, içsel yarı iletkenlerin altındadır ve değerlik bandına iletim grubundan daha yakındır (Neamen, 2003).

### 2.1.3 Kalorimetreler

Kalorimetreler, özellikle parçacık hızlandırıcılarında gerçekleştirilen çarpışmalar esnasında ortaya çıkan atom-altı parçacıkların enerjilerinin ölçülebilmesi için kullanılırlar. CERN’de CMS (Compact Muon Solenoid) deneyinde iki çeşit kalorimetre kullanılmaktadır. Hadronik kalorimetreler, iç yapısında kuark olan parçacıkların (proton,nötron, pi mezonu vs.) enerjisini ölçer. Yapısında Çelik levhalar ve parıldaklar kullanılır. Elektromanyetik kalorimetreler ise elektron/pozitron ve fotonların enerjisini ölçer. Kurşun/Bakır ve Sıvı Argon karışımı kullanılır (Artomonov, 2008).

### 2.1.4 Bulut/Kabarcık (Bubble) Odaları

Bir kabarcık odası, 1950'lerde fizikçilerin yüklü parçacıkların etkileşimlerini ve bozunmalarını gözlemlemelerini sağlayan bir cihazdır. Bir iyonlaştırıcı partikülün sıvı boyunca hareket ettiğinde, bu işlemin daha sonra açıklandığında, büyük ısıtılmış bir sıvı ile doldurulmuş bir üniteden oluşur. Oda içerisine giren radyasyon içerideki sıvı veya buhar ile etkileşerek kabarcıklar oluşturması fotoğraflanır. Ardından bu fotoğraflar analiz edilerek kabarcık odasına giren parçacığı momentumu ve yükünün işareti belirlenebilir.

Artık günümüz detektör teknolojilerinde çok fazla kullanılmasa da modern dedektörlerin tasarımında yol gösterici olmuştur (Glaser, 1958).

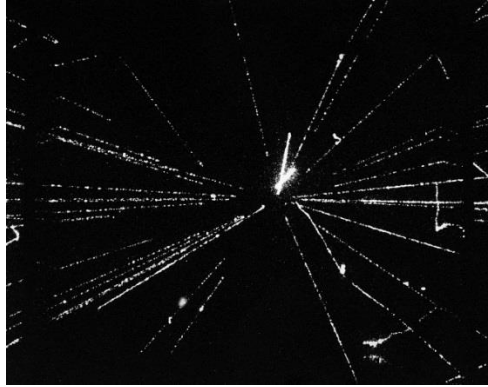


Şekil 2. 4 CERN dedektör müzesinde bulunan Buble Chamber

### 2.1.5 Kıvılcım (Spark) Odaları

Kabarcık odaları gibi modern dedektörlerin tasarımına ışık tutmuş nostaljik bir dedektör çeşidi olarak bilinir. Bu dedektör, hala sınırlı kullanımda olan (Daddi,1959), kıvılcım sayacı olarak adlandırılan eski bir detektörün geliştirilmiş halidir. Basit formunda kıvılcım sayaç, bir çift paralel plakadan oluşur, aralarında, bir gaz ortamı Geiger-Muller sayacı gibi algılayıcı bölge olarak aynı şekilde kullanılmıştır (El-Nadi, 1959). Aslında, sadece Geiger-Muller (GM) sayaç geometrisinin bir varyasyonudur. (Kruger, 1959). En basit ifade ile yüklü elektrotlar arasın giren yüklü parçacık (radyasyon) gazı iyonlaştırır ve yüksek elektrik alan sebebi ile ortamda kıvılcım ortaya

çıkar. Böylece dedektör yüklü bir parçacık tespit ettiğini haber vermiş olur. Ayrıca parçacığın izi, momentumu ve yük işareti de ortaya çıkmış olur (Roberts, 1961).



Şekil 2. 5 Şekil 2. 5 Işık Hüzmesi Detektörü proton–antiproton çarpışması verileri

### 2.1.6 Nötron Dedektörleri

Nötronlar doğaları gereği iyonlaşmaya ya da uyarmaya sebep olmazlar ve atomların elektronları ile etkileşmezler. Tespit edilmeleri zor olan nötronlar doğrudan ölçülemezler. Nötronların tespit edilebilmeleri için atom çekirdeği ile etkileşmeleri gereklidir. Bu dedektörlerle nötron etkileşmesi sonucu oluşan ikincil iyonlaştırıcı ışınlar ölçülür. Nötronlar yüksüz olduğundan, nötron dedektöründe bir nötron iyonizasyon tanecik dönüştürücüsü bulunur. Gelen nötronlar tarafından dönüştürücü malzeme yakalanır ve burada nükleer bir reaksiyonla algılanabilecek iyon tanecikler meydana gelir. Nötron dedektörler orantılı sayıcılardır; çünkü, yaratılan yükün toplam miktarı, orijinal nötronlardan çıkarılması gereken yük miktarıyla orantılıdır. Nötron etkileşmesinden doğan izotopun kendisi radyoaktif olabileceğinden bu yöntem çoğunlukla indium, tantal ve altın plakaları bir araya getirerek kaza dozimetresinde kullanılır (Demir, 2014).

### 2.1.7 Cerenkov Dedektörleri

Yüklü bir parçacık, o ortamdaki ışığın faz hızından daha büyük bir hızla optik olarak saydam bir ortamdan geçtiğinde, Cerenkov radyasyonu olarak adlandırılan, parçacık hızına bağlı olan karakteristik bir kutup açısıyla grup fotonlar yayar. Cerenkov sayaçları bu radyasyonu kullanan parçacık dedektörleridir. Kullanımları, hızlı olay sayımı, hızlı parçacıkların tespitini, parçacık kitlelerinin ölçülmesi, atmosfer veya doğal buz alanlarındaki, Antarktika'daki Güney Kutbu gibi çok büyük, doğal radyatörlerde olayların izlenmesi veya lokalizasyonunu içerir. Cerenkov sayaçları,

partikül hızlandırıcılarında, nükleer reaktörlerde, kozmik ray dedektörlerinde, parçacık astrofizik dedektörleri ve nötrino astronomide ve bazı biyolojik molekülleri etiketlemek için biyomedikasyonda yüksek enerji ve nükleer fizik dedektörleri dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılır (Ratcliff B, 2012).



Şekil 2. 6 Cerenkov ışması

### 2.1.8 Gazlı Parçacık Dedektörleri

Gazlı parçacık dedektörleri temel olarak sızdırmaz sınırlı bir hacme en az atmosferik basınçla sıkıştırılmış bir moleküler ve bir soygazın belirli oranda karışımı ve potansiyel fark uygulanmış çeşitli geometrilerde elektrotlardan oluşur. Gazlı dedektörlerde sıklıkla kullanılan gazlar, bu gazların birinci iyonlaşma enerjileri ve bu gazların kullanıldığı dedektörlerde bir elektron-iyon çifti oluşturmak için gereken minimum enerji (İş Fonksiyonu) aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. 1 Gazlı dedektörlerde kullanılan gazlar ve ilgili parametreler

Gaz	Birinci iyonlaşma enerjisi (eV)	İş Fonksiyonu (eV/ion pair)	
		Hızlı elektronlar	Alfa parçacıkları
Ar	15.7	26.4	26.3
He	24.5	41.3	42.7
H <sub>2</sub>	15.6	36.5	36.4
N <sub>2</sub>	15.5	34.8	36.4
Air		33.8	35.1
O <sub>2</sub>	12.5	30.8	32.2
CH <sub>4</sub>	14.5	27.3	29.1

Gazlı parçacık detektörleri; CERN (Avrupa Birliği Nükleer Araştırma Merkezi) olmak üzere Yüksek Enerji Fiziği ile ilgili araştırmalar yapan birçok merkezde, yangın erken uyarı sistemlerinde, tıbbi görüntüleme tekniklerinde sıklıkla kullanılan ve Geiger-Muller sayaçlarından bu yana araştırma ve geliştirmeleri devam eden detektör türleridir. 1992 yılında Georges Charpak'ın çok telli orantılı sayacın (Multi Wire Proportional Chamber) keşfi ile Nobel ödülü almasıyla dikkatleri üzerine çeken bu detektörlerin günümüzde mikro-yapılı modelleri kullanılmaktadır. Deteksiyon hızları, ölçüm hassasiyetleri ve minimum radyasyon hasarı gibi öne çıkan özelliklerinin yanında bu detektör ailesi ile ilgili bir problem son zamanlarda sıkça bilimsel tartışmalara konu olmaktadır (Veenhof, 2017; Velure, 2015). Bu problem temel olarak; iyonların detektörden sinyal alma sürecine ve detektörden alınan sinyalin şekline olan etkilerinin net olarak belirlenememesidir. Bu belirsizlik yaygın olarak kullanılan Garfield++, Magboltz gibi simülasyon programlarının, iyon etkisinden bağımsız çalışmalarına, dolayısıyla gerçek fiziksel süreçten sapan sonuçlar ortaya koymalarına sebep olmaktadır. Özellikle büyük hacimli TPC (Time Projection Chamber) gibi gazlı detektörlerde bu durum daha büyük problemlere yol açmaktadır (ALICE teknik dizayn raporu, 2014). Sadece Parçacık Fiziği değil, Astrofizik alanında çalışan bilim insanlarının da sıklıkla başvurduğu bu simülasyon programlarının iyon etkisinin dikkate alınarak güncellenmesi önem teşkil etmektedir. Bu konuda ortaya konacak bulgular, gazlı detektörlerin iyon etkisi net bir şekilde göz önüne alınarak geliştirilmesini ve simülasyon programlarının bu yönde iyileştirilmesini mümkün kılacaktır.

Diğer atom altı parçacık detektörleri gibi gazlı detektörler de temel çalışma prensibi olarak iyonlaşma ile çalışır. İyonlaşma ürünü olarak ortaya çıkan iyonların geçtiğimiz on yıla kadar sinyale bir etkilerinin olmadığı ileri sürülüyordu. Dolayısıyla günümüzde bile, simülasyon programlarında iyonların etkisi tamamen etkisiz sayılmaktadır (Sauli,1997; Garfield ve Magboltz simülasyon programları). 2015 yılında Kalkan (2015) tarafından yayınlanan doktora tezi ve makale ile iyonların detektörden alınan sinyale ve detektörün sağlıklı çalışmasına etkilerinin olduğu, dünyanın çeşitli laboratuvarlarında yapılan deneysel çalışmalar ile destekleyerek ortaya konulmuştur. Hatta detektör içerisinde oluşan tüm iyonların mikro-saniyeler içerisinde, rezonans yük değiştirme reaksiyonları baskın olmak üzere çeşitli reaksiyonlar gerçekleştirdiği ve sonuçta yalnızca  $\text{CO}_2$ ,  $(\text{CO}_2)_n$  iyonik kümelerinin kaldığı ispatlanmıştır (Kalkan, 2015).

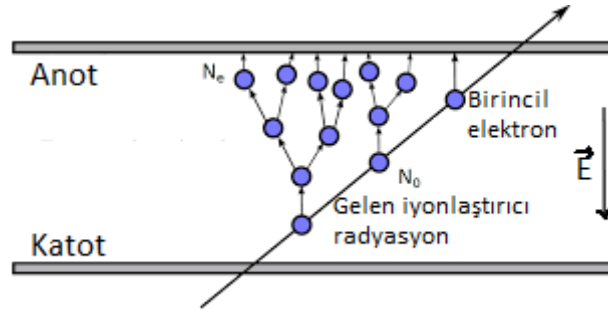
Gazlı detektörlerdeki iyon gizemini çözmek adına yapılan bu çalışmalar, önemli sonuçları ile dikkatleri üzerine çekse de gizem henüz tam olarak çözülmüş değildir.

Çünkü gazlı dedektörlerde olumsuz etkileri hakkında bilimsel toplantılarda sıklıkla tartışılan iyonik kümelerin boyutları henüz belirlenmemiş ve teorik olarak birbirinden farklı birçok iddia literatürde yerini almıştır (Jinno, 2013; Alison, 2018; Lei An-Le, 2000; Yao, 2007; Li Shao-Hui, 2003; LIU Bing-Che, 2002). Sonuçta iyonik kümelerin etkileri boyutları kadar büyüktür. Bahsedilen konularda, Coimbra Üniversitesi'nden (Portekiz) bir çalışma grubu deneysel çalışmalarının yönünü, iyonlardan iyonik kümelere çevirmiş ve mobilite kavramından yola çıkarak iyonları tanımlamaya çalışmışlardır (Cortez, 2017; Encarnaçao, 2016). Kütle spektroskopisine benzer bir yöntemle elde edilen verileri literatürdeki verilerle kıyaslama temeline dayanan bu çalışmalar sadece iyonların cinsini tahmin edebilmeyi sağlasa da asıl önemli olan, iyonik kümelerin boyutlarını belirleyebilmektir.

Son 30 yıldır mikro-yapılı modelleri geliştirilmiş ve kullanılmakta olan gazlı dedektörler, CERN başta olmak üzere birçok parçacık fiziği araştırma merkezinde, güvenlik sektöründe çeşitli radyasyon türlerinin tespitinde, sağlık sektöründe çeşitli hastalıkların teşhisinde ve endüstride çeşitli üretim mekanizmalarında kullanılırlar. Çalışma prensibi gazlı dedektörün türüne bağlı olup temel olarak iyonlaşma prensibine dayanır. Paralel plakalı gazlı dedektör, Orantılı (Silindirik) sayaç ya da diğer adıyla Geiger-Müller sayacı gibi mili yapıda modellerinin yanında son 30 yıldır gelişimlerini hızla sürdüren mikro yapılı modeller üretilmiştir. MPGD (Micro-Pattern Gaseous Detectors) olarak adlandırılan bu teknolojilerin başlıcaları GEM (Gas Electron Multiplier) ve Micromegas (MICRO-MESH GAS Detector) teknolojinin gelişimine ayak uydurarak günümüzde en çok kullanılan gazlı dedektör modelleri olarak öne çıkmışlardır. Geleceğin teknolojileri olarak nano-yapılı gazlı dedektörlerle ilgili gelişmeler her geçen gün literatürde yerini almaktadır.

### **2.1.8.1 Paralel plakalı gazlı dedektörler**

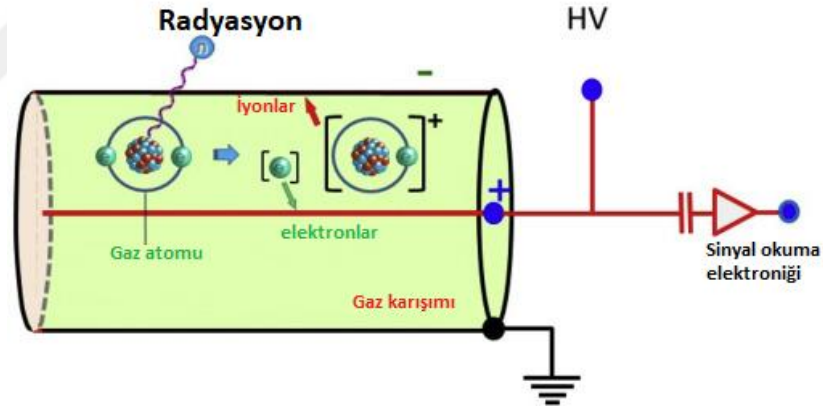
Gazlı dedektörlerin keşfi 1900'lü yılların başına rastlamaktadır. İlk gazlı dedektör örneklerinden paralel plakalı gazlı dedektör (Parallel Plate Detectors) Paralel iletken elektrotlar arasına sıkıştırılmış gaz ortamına giren iyonlaştırıcı radyasyon gaz atomları ile etkileşerek onları iyonlaştırır. Oluşan elektron-iyon çiftleri elektrotlar arasında oluşan düzgün elektrik alan vasıtasıyla zıt yönlerde sürüklenirler. Anot levhaya doğru ilerleyen elektronlar, yüksek voltaja bağlı bu elektrot üzerinde yük indükleyerek sinyal oluşumuna sebep olurlar. Paralel plakalı gazlı dedektörler günümüzde sadece bazı özel uygulamalar ve eğitim amaçlı kullanılmaktadır (Roberts, 1961).



Şekil 2. 7 Paralel plakalı gazlı dedektör ve çalışma prensibi

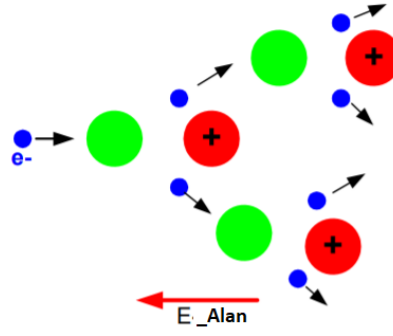
### 2.1.8.2 Silindirik (Orantılı) Sayaç

Anot elektrot yerine yaklaşık 50 mikron kalınlığa sahip anot telinin kullanıldığı, dikdörtgen prizma yerine silindirik geometriye sahip detektörlerdir. Bunun temel amacı anoda yaklaştıkça eksponansiyel olarak artan bir elektrik alan oluşturmaktır. Bu sayede sinyal indükleyen elektronların gaz içerisindeki mobiliteleri artacak böylece daha hızlı ve daha şiddetli sinyal üretilmiş olacaktır.

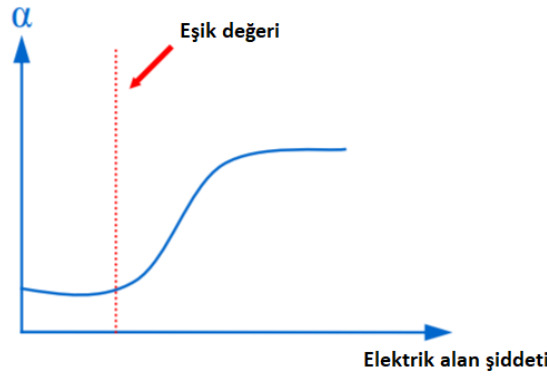


Şekil 2. 8 Orantılı sayaç ve çalışma süreci şeması

Oransal sayaçlar ve Geiger-Müller (G-M) Sayaçlar, üretilen elektron-iyon çiftlerinin sayılarını, gaz çarpanı olarak bilinen oranda büyük ölçüde artırırlar. Gaz çarpanı, anot teli ve katot yüzey arasındaki elektrik alan ile doğrudan orantılı olarak değişir (Byun, 2007).



Şekil 2. 9 Çığ oluşumu



Şekil 2. 10 Gaz çarpanının elektrik alan ile değişimi

Radyasyonun dedektör içerisindeki gaz atom-molekülleri ile etkileşimi sonrası, elektrik alan eşliğinde her iki zıt yöne sürüklenen elektronlar ve iyonlar, elektrotlar üzerinde toplanana kadar nötr gaz atom veya molekülleriyle birçok çarpışma yapar. Elektrik alanı yeterince güçlü olduğunda, elektronlar çarpışmalar arasında yüksek kinetik enerjiler elde eder ve sonunda nötr molekülleri Şekil 2.9'da gösterildiği gibi iyonlaştırır. İki elektron daha sonra hızlandırılabilir ve daha fazla iyonlaşmaya yani elektron-iyon çifti oluşumuna neden olabilir. Böylece süreç bir çığ şeklini alır (Townsend Avalanche). Çığ olayının gözlenebilmesi için elektrotlar arasında oluşturulan elektrik alan değeri eşikten daha güçlü olmalıdır (Waker, 1995). Birim yol başına elektron sayısındaki fraksiyonel artış, Townsend denklemi ile belirlenebilir:

$$dN_e(x) = N_e(x)\alpha dx$$

burada  $N_e(x)$ ; x yolu boyunca üretilen elektron sayısı,  $\alpha$  ise gazın Townsend katsayısıdır. Şekil 2. 10 bu katsayının elektrik alan ile değişimi görülmektedir. Elektrik alanın mekânsal olarak sabit olduğu paralel plakalı dedektörler için bu katsayı sabittir:

$$N_e(x) = N_e(x = 0)e^{\alpha x}$$

Üretilen elektron sayısının alınan yol ile eksponansiyel olarak değiştiği görülmektedir. Bu nedenle, toplam elektron sayısı binlerce birincil elektronların sayısının binlerce katı olabilir ve anodun bu yükseltilmiş sinyal tespit edilmesi çok daha kolaydır. Sinyal elektriksel gürültüden kolayca ayırt edilebilir ve bu kazanım harici yükselteçlere olan gereksinimleri sınırlandırmış olur.

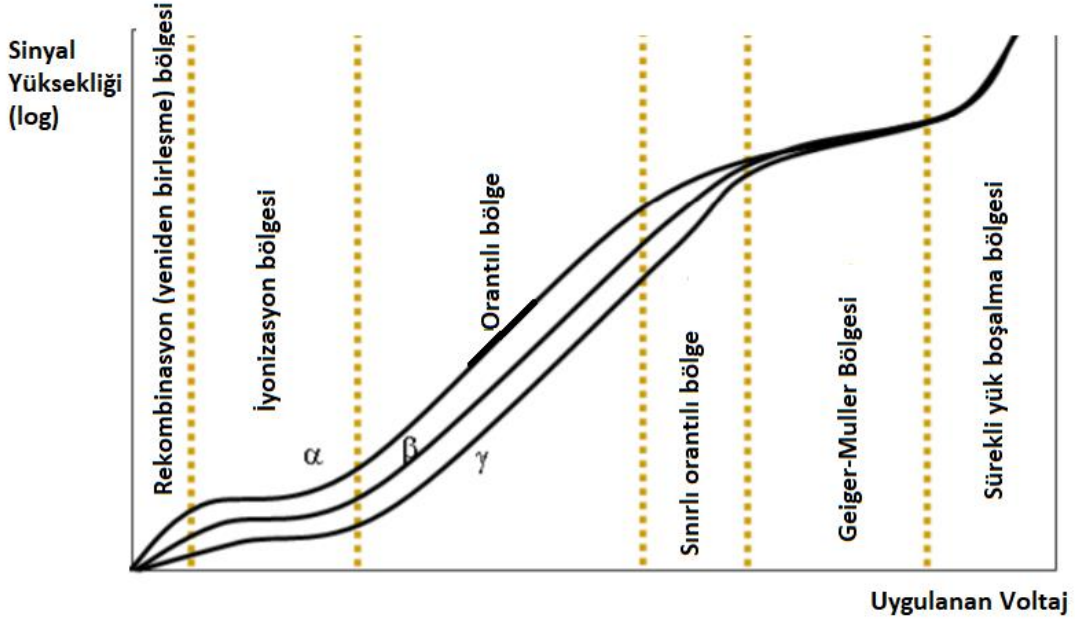
Elektrik alan şiddetine bağlı olarak, gazlı dedektörlerin çalışması, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi üç ana bölgeye ayrılabilir (Knoll, 1999).

### **Orantılı Bölge:**

Uygulanan voltajın bu bölgesinde, sayaç gaz kazancının sağlanması için, yani çıkış olayının gerçekleşebilmesi için eşiğin üzerindedir. Gaz kazancı doğrusaldır; anot üzerinde toplanan yük, süreçte oluşan elektron-iyon çiftlerinin sayısı ile orantılıdır. Sinyal, radyasyon tipine bağlıdır, ancak daha da önemlisi, olay radyasyon enerjisine bağlıdır. Bu nedenle, (sabit uygulanan voltajda) ölçülen sinyal genliği (veya yüksekliği), gelen parçacığın enerjisi ile doğru orantılıdır.

### **Sınırlı Orantılı Bölge:**

Uygulanan voltajdaki artış doğrusal olmayan etkilere neden olur. Pozitif iyonlar yavaş hareket ederken, serbest elektronlar yüksek hareketlilik nedeniyle hızlı bir şekilde toplanır, bu da uzun zaman alır. Elektronların toplanması sırasında, dağılması yavaş olan (neredeyse) hareketsiz bir pozitif iyon bulutu oluşur. Son çalışmalar bu bulutu oluşturanların iyonlar değil iyonik kümeler olduğunu göstermiştir. Pozitif iyonik küme konsantrasyonu yüksekse, elektrik alanı bozulur, bu da gaz çoğalmasında bozulmaya neden olur ve doğrusal olmayan etkiler gözlenir.

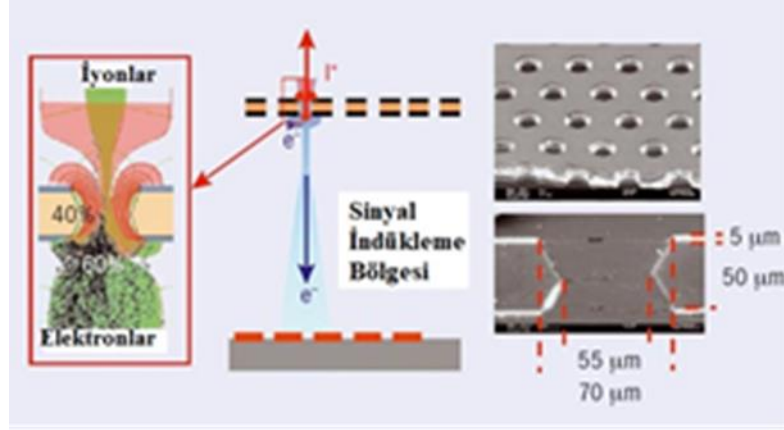


Şekil 2. 11 Gazlı dedektörlerin çalışma bölgeleri Geiger-Müller Bölgesi

Uygulanan voltaj, pozitif iyon bulutlarının sürüklenebilmesi için yeterince yüksektir, indüklenen pozitif yük dağılımı sinyalde baskındır. Pozitif iyonik küme bulutunun oluşturduğu elektrik alan, yeni çığ oluşumları için gereken düzgün elektrik alanı engelleyecek boyuta ulaşmıştır. Sinyal, gelen radyasyonunun yarattığı başlangıç iyonlarının sayısından bağımsız olarak, aynı toplam sayıda pozitif iyon sayısı oluşturulduğunda sonlanır. Her sinyal aynı genliktedir. Böylece, sinyal genliği, dedektör tarafından her etkileşim tarafından emilen enerjiyi yansıtmaz. Geiger Müller sinyalleri hiçbir enerji bilgisi içermez, parçacık bilgisi yoktur. Sadece sayı belirtir.

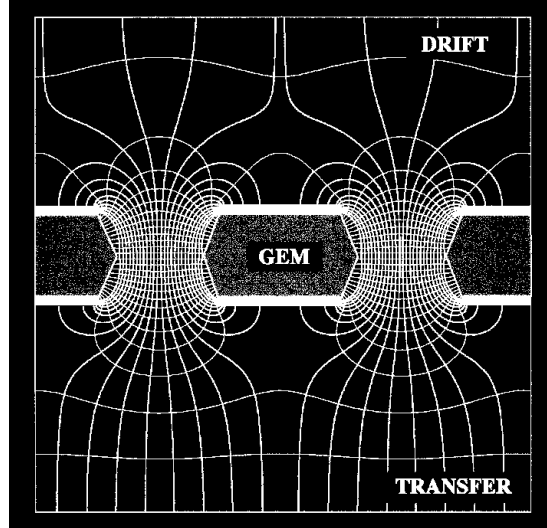
### 2.1.7.3 GEM Dedektörleri

Gazlı dedektörler ailesinin, günümüzde kullanılan mikro-yapılı modern örneklerinden birisi olan GEM (Gas Electron Multiplier) dedektörleri, CERN (Avrupa Birliği Nükleer Araştırma Merkezi) bünyesinde gerçekleştirilen en büyük çalışma olan LHC (Large Hadron Collider) kapsamında birçok parçacık fiziği deneyinde kullanılmaktadır. GEM dedektörleri aynı zamanda yangın uyarı sistemleri, tıbbi teşhis, astrofizik ve biyoloji alanlarında da kullanılmaktadır.



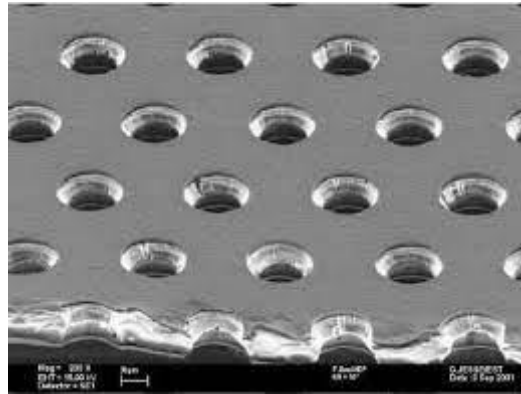
Şekil 2. 12 GEM detektörünün temel yapısı ve çalışma prensibi

GEM detektörlerinin en önemli bileşeni olan GEM yaprağı iki tarafı metal ile kaplanmış ve sık aralıklı (delik aralıkları yaklaşık  $140 \mu\text{m}$ ) deliklerle delinmiş, ince ( $50\text{--}100 \mu\text{m}$ ) bir polimer filmidir. GEM yaprağı, sürüklenme ve sinyal indükleme bölgelerinin arasına yerleştirilir. GEM yaprağı ile ayrılmış bu iki bölgede farklı elektrik alan şiddetleri meydana getirmek için farklı değerlerde potansiyel farklar uygulanır. Bu bölgede üretilen elektronlara yeni iyonlaşmalar meydana getirecek kadar kinetik enerji kazandırılması istenmeyen bir durumdur. Çünkü sürüklenme bölgesinde amaçlanan; yüklü atom altı parçacıkların gaz ile etkileşmesi ve sadece birincil elektronların üretilmesidir. GEM yaprağı içerisinde yalıtkan bir polimer malzemenin kullanılmasının (polyimide) ve üzerindeki deliklerin temel amacı elektrik alan çizgilerini boğumlayarak sıklaştırmak, dolayısıyla çok küçük bir hacimde şiddetli bir elektrik alan meydana getirmektir. Dolayısıyla birincil elektronlar sürüklenme bölgesindeki nispeten küçük bir elektrik alan yardımıyla deliklere yönlendirilirler. Delikler içerisindeki yüksek elektrik alandan dolayı fazlaca kinetik enerji kazanırlar ve sıkça yeni iyonlaşmalar meydana getirirler. Bu süreç “çığ oluşumu” olarak adlandırılır. Sürecin ürünlerinden elektronlar sinyal indükleme bölgesine geçerken, iyonlar ise tersine yönelerek sürüklenme bölgesine geri dönerler. Sinyal indükleme bölgesindeki nispeten yüksek elektrik alan marifetiyle elektronlar hızla anoda doğru yönelerek sinyal oluştururlar (Sauli, 1997).



Şekil 2. 13 GEM dedektörü içerisinde oluşan elektrik alan çizgileri

Özellikle kablosuz dedektörler için orantılı sayaç geliştirmesinde büyük ilerleme kaydedilmiştir. Yeni dedektörlerin en başarılı tipi, Gas Electron Multiplier (GEM) (Sauli, 1977; 2003; 2004) dedektörünün yapısı ve dedektör hacminde elektrik alanı çizgileri Şekil 13'de gösterilmiştir. İnce poliimid bir yalıtım tabakası ( $\sim 50 \mu\text{m}$  kalınlığında), her iki tarafta da  $5 \mu\text{m}$  kalınlığında bir bakır tabaka ile kaplanmıştır. Yüksek bir voltaj ( $\sim 500 \text{ V}$ ) uygulandığında, yük yükseltme işlemine yol açan deliklerin ( $70 \mu\text{m}$ ) içinde güçlü bir elektrik alanı oluşturulur. Dedektör yapısının kendisi pikselleştiğinden, GEM, pozisyona duyarlı bir gaz dedektörü oluşturmanın çekici bir yoludur.



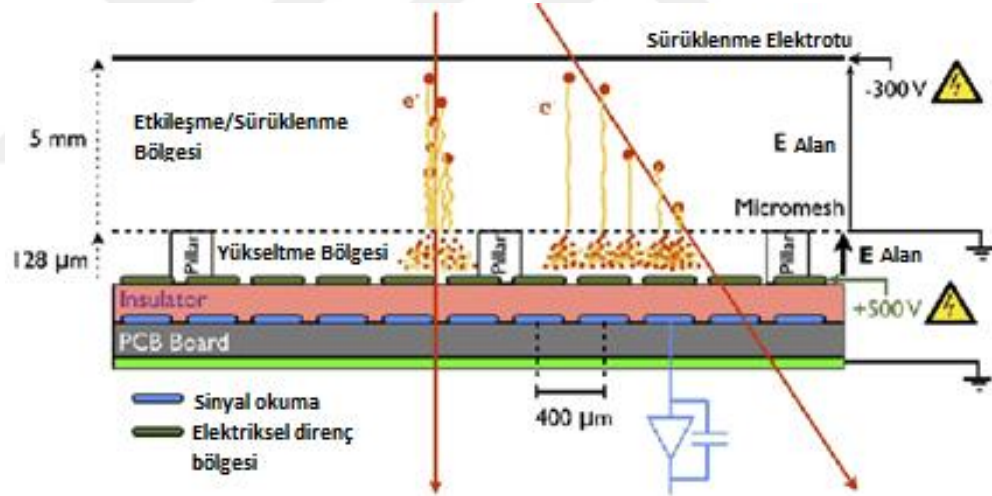
Şekil 2. 14 GEM yaprağı üzerinde bulunan delikler

Yıllar öncesine kadar bu hikâye burada bitiyordu. İyonların, GEM yaprağı tarafından elektromanyetik olarak perdelendiği, dolayısıyla anot üzerinde indüklenen sinyale etkilerinin olmadığı belirtiliyordu. Aslında bu iddia yanlış değildi. Ancak iyonların sürüklenme bölgesindeki icraatlarının gözden kaçırılmaması gerekiyordu. Nitekim iyonlar sürüklenme bölgesindeki nispeten küçük elektrik alanda öylece

sürüklenip katoda ulaşmak yerine, saniyelerce (Bu süre sinyalin üretilmesi için geçen zamanla kıyaslandığında çok uzundur.) ortamda kaldıkları, bununla da yetinmeyip ortamdaki yüksüz atom veya moleküllerle “van der Waals” benzeri bağlar kurarak iyonik kümeler oluşturdukları ve dolayısıyla çok küçük mobilitelerle hareket ettikleri belirlenmiştir (Kalkan, 2015). Bu iyonik kümelerin boyutlarının deneysel olarak belirlenmesi, bu tezin temel amacıdır. İyonik kümelerin boyutları ve bunların hangi parametrelere bağlı olduğu, sadece GEM dedektörleri değil, tüm gazlı dedektörler için bir bilinmeyendir ve önemlidir.

#### 2.1.8.4 MICRO-MESH GAS Dedektörü

MICROMEGAS çok asimetrik bir çift yapı dedektörüdür (Andriamonje, 2004). Bu dedektörün GEM dedektörlerinden farkı, iki iyi ayırt edilmiş bölgenin artık bir delikli bir düzlem ile değil, bir mikro ağ ile ayrılmış olmasıdır. Dedektörün çalışma prensibi, Şekil 2.15’te gösterilmiştir (Dimitrios,2018).

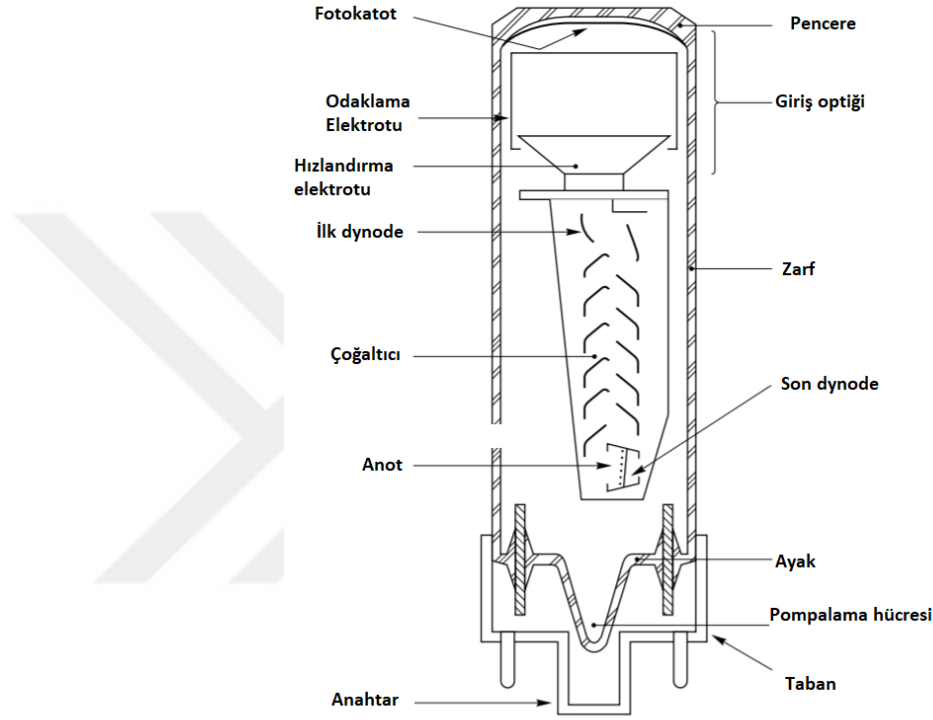


Şekil 2.15 Micromegas dedektörünün çalışma prensibi

Micromegas dedektörleri, 250 ila 500 mikrometrelük bir okuma şeridi aralığı nedeniyle yüksek konum çözünürlüğü gösteren mikro model gazlı dedektörlerdir. Yüklü parçacıklar, genellikle argon ve karbon dioksit veya neon ve tetraflorometandan oluşan dedektör gazını iyonize eder. İyonizasyon sürecinden gelen elektronlar, ince bir mikro ağ ve okuma şeritleri arasında bir çığ içinde yükseltilir. Sadece 100 ns içinde pozitif iyonların hızlı tahliyesi nedeniyle dedektör, özünde yüksek hız yeteneğine sahiptir (Giometaris ve ark., 1996)

Günümüzde Micromegas dedektörleri üzerine çalışan gruplar, sinyal oluşumu, gaz amplifikasyon süreçleri ve deşarj özellikleri gibi dedektör içindeki temel süreçleri araştırır. Ayrıca uzaysal ve zamansal çözünürlük, enerji çözünürlüğü, tek düzlemlilik eğimi yeniden oluşturma ve yüklü parçacıklara, fotonlara ve nötronlara verimlilik gibi dedektör özellikleri araştırılmaktadır.

### 2.1.8.5 Photo Multiplier Tube (PMT)



Şekil 2. 16 Philips (şimdi Photonis) tarafından 1956'da tanıtılan, dünyanın ilk Hızlı PMT'sine dayanan bir foto-çoğaltıcının bileşenleri

Bir fotomultiplier ışığı elektrik sinyaline dönüştürür, ardından sinyali ikincil elektronların emisyonu ile yararlı bir seviyeye yükseltir. Şekil 15, en basit PMT'ye ait bir foto-çoğaltıcının temel unsurları göstermektedir:

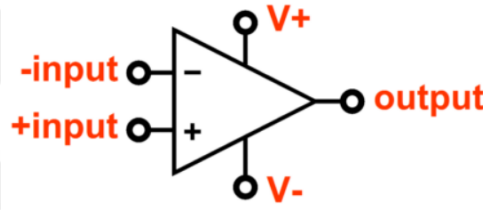
- Işık akışını elektron akışına dönüştüren bir fotokatot;
- Elektron akışını odaklayan ve hızlandıran bir elektron optik giriş sistemi;
- bir dizi ikincil emisyon elektrotundan (dynodes) oluşan bir elektron çarpanı ve sonunda
- Elektron akışını çarpanadan toplayan ve çıkış sinyalini indükleyen bir anot.

Kısacası bir foto-çoğaltıcının temel bileşenleri foto-emisyon ve ikincil emisyonur denilebilir. Foto-emisyon; pencereden yapı içerisine giren fotonların bir

kısının enerjilerini foto-katot materyalinin atomlarına bağlı elektronlara vererek onları yapıdan koparmaları ilkesine dayanır. Elektronlar odaklanarak elektrik alanda dynode'lar arasında hızlandırılırlar ve böylece ikincil emisyonlar ortaya çıkar. Sonuç olarak ışık, algılanabilir bir elektrik sinyaline dönüşmüştür.

## 2.2 İşlemsel Operasyon (OPerational AMPlifier) devreleri

Operasyonel amplifikatör, son derece verimli ve çok yönlü bir cihazdır. Uygulamaları, sinyal koşullandırma, özel transfer fonksiyonları, analog enstrümantasyon, analog hesaplama ve özel sistem tasarımı için geniş elektronik endüstrisi doldurma gereksinimlerini kapsar. Sadelik ve hassasiyetin analog varlıkları operasyonel yükselteçleri kullanan devreleri karakterize eder. Şekil 2.17 'de temel **OPAMP** sembolü gösterilmiştir. Bu sembolde gösterilmeyen bir de besleme voltaj uçları bulunur (diyot.net).



Şekil 2. 17 Temel OPAMP sembolü ve besleme uçları

Başlangıçta, "operasyonel amplifikatör" terimi, çeşitli matematiksel işlemleri gerçekleştiren amplifikatörleri tanımlamak için hesaplama alanında kullanılmıştır. Yüksek kazançlı bir DC amplifikatörün etrafındaki olumsuz geri bildirimlerin uygulanmasının, yalnızca kullanılan geri bildirimle bağlı olan kesin bir kazanç özelliğine sahip bir devre üreteceği bulundu. Geri bildirim bileşenlerinin uygun seçimi ile, operasyonel amplifikatör devreleri, eklemek, çıkarmak, ortalama, entegre etmek ve farklılaştırmak için kullanılabilir. Operasyonel amplifikatörün yapabileceği şey, yalnızca kullanıcının hayal gücü ve yaratıcılığıyla sınırlıdır. Özellikleri hakkında iyi bir çalışma bilgisi ile kullanıcı operasyonel yükselticilerin faydalı özelliklerini daha da eksiksiz hale getirebilecektir (Carter and Brown, 2016)

Bu kadar geniş bir uygulama alanı olan OPAMP elemanı bu tez çalışması kapsamında; PMT'nin akım sinyal çıkışını voltaja dönüştürmek, yükseltmek ve elektriksel gürültüden arındırmak için kullanılmıştır. Bu amaçla aşağıdaki devreden faydalanılmıştır (Hamamatsu, 1996).

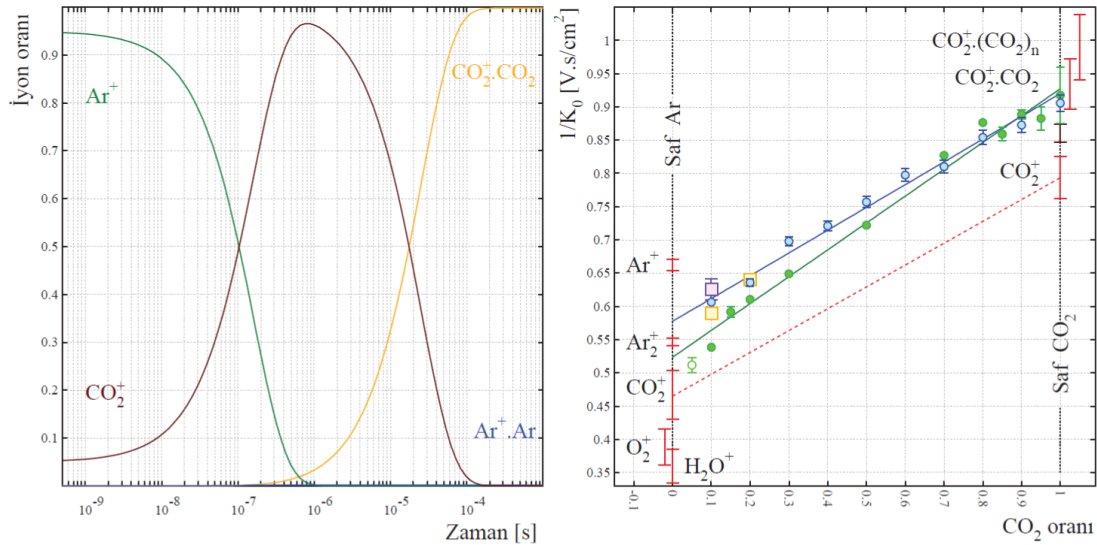
### 2.3 İyonik kümeler

İyonik kümelerden literatürde ilk defa 1956 yılında bahsedilmiştir (Becker, 1956). İyonik kümeler bir iyonla bağlı halde birlikte hareket eden atom veya moleküllerin oluşturduğu yapılardır. Kümenin elemanları iyonun oluşturduğu elektrik alanın çekici etkisi ile bir arada kalır ve birlikte hareket ederler (Kalkan, 2015)

Bu noktada, örnek olarak gazlı detektörlerde en sık kullanılan %70 Ar - %30 CO<sub>2</sub> karışımı ile detektörün standart çalışma şartlarında oluşan iyonik kümeler hakkında bir şeyler yazmak, detektör ortamında iyonik kümelerin oluşumunu aydınlatacaktır. Argon atomu CO<sub>2</sub> molekülüne göre daha yüksek bir iyonizasyon potansiyeline sahiptir ve Ar<sup>+</sup> iyonları, (CO<sub>2</sub> oranının %10 olduğu varsayılırsa), ~0,85 ns içerisinde yüklerini CO<sub>2</sub> molekülüne aktaracaklardır (Anicich, 1993):

Alternatif olarak, Ar<sup>+</sup> iyonları, 1951 yılında John Hornbeck tarafından da ispat edildiği gibi moleküler iyonlar olabilirler (Hornbeck 1951). Ayrıca yüksek basınçlarda, üç reaktantlı reaksiyonlarda gerçekleştirilebilirler:

Burada M, Ar veya CO<sub>2</sub> olabilir ve yardımcı bileşen olarak enerji-momentum korunumunu sağlarlar. Reaksiyonun hız sabiti, Wei-cheng F. Liu ve D.C. Conway'den alınarak hesaplama yapılmıştır (Liu ve Conway, 1975). Benzer bir değeri ( $k = 2.10^{-31}$  cm<sup>6</sup>/s) K. Hiraoka and T. Mori yayınlamıştır (Hiraoka ve Mori, 1989). B.M. Smirnov (Boris, 1992)  $k = 2,2.10^{-31}$  cm<sup>6</sup>/s gibi bir değer önermiştir. %90 Argon kullanılarak hazırlanmış bir karışımda, Argon atomları yardımcı rolünü üstlenir ve reaksiyon yaklaşık 8,9±0,8 ns sürer. Ar<sup>+</sup> iyonunun Argon atomu ile rezonans yük transferi için hız sabiti  $k=4,6.10^{-10}$  cm<sup>3</sup>/s olarak elde edilmiştir (Martin, 2010) ve böyle reaksiyonlar 100 ps zaman alır. Bu süre moleküler iyon oluşumu için gerekli süreye göre çok daha kısadır.



**Şekil 2. 18** Sol: %95 Ar - %5 CO<sub>2</sub> gaz karışımında, 1070 Pa basınç altında iyonik kümelerin hesaplanmış oranları. Sağ: Ar-CO<sub>2</sub> gaz karışımı için Blanck Diyagramı

İyonların %99'unun CO<sub>2</sub><sup>+</sup>.CO<sub>2</sub> iyonik kümelerine dönüşümü, sadece CO<sub>2</sub> bulunan ortamda ~0,3 µs gibi bir zaman alır. CO<sub>2</sub> oranı sadece %5 olması durumunda dahi bu süre ~120 µs kadar zaman almaktadır. Sonuçta bu süre sonunda ortamda CO<sub>2</sub><sup>+</sup>.CO<sub>2</sub> iyonik kümelerinden başka hiçbir şey kalmamıştır (Şekil 2.18 sol). Başlangıçta üretilen iyonların %95'i Ar<sup>+</sup> olsa bile Ar<sup>+</sup>.Ar iyonik kümelerinin üretilmesi oldukça zordur. Çünkü Ar<sup>+</sup> iyonu düşük basınçta yükünü CO<sub>2</sub> molekülüne transfer eder. Şekil 2.18 sağda görülen grafikte; mavi noktalar ile G. Schultz ve ekibi (Schultz ve ark., 1977) tarafından alınmış veriler gösterilmiştir. Mavi çizgi bu noktalara yapılmış bir lineer fit olarak çizilmiştir. Yeşil noktalar P.M.C.C. Encarnaçao ve ekibi (Encarnaçao ve ark., 2015) tarafından elde edilmiş verilerdir. Yeşil çizgi ise bu verilere yapılmış lineer fit doğrusudur. Mor nokta ALICE TPC içerisinde yürütücünün doktora tez çalışmaları kapsamında ölçülmüştür. Ortamda nem mevcuttur. Turuncu noktalar bir ALICE prototipinden elde edilmiştir. Kırmızı işaretçiler hata barları, karışım değil ortamda saf Ar veya saf CO<sub>2</sub> olması durumlarında mobilite değerlerini göstermektedir. Kırmızı kesik çizgilerden oluşan doğru, CO<sub>2</sub><sup>+</sup> iyonu için beklenen mobilite değeridir. Bu grafikten anlaşılacağı üzere CO<sub>2</sub><sup>+</sup> mobilitesi olarak ölçmek için yapılan deneylerde aslında CO<sub>2</sub><sup>+</sup>.CO<sub>2</sub> iyonik kümelerine ait mobilite değerleri ölçülmüştür.

### 2.3.1 İyonik kümelerin gazlı dedektörlerde oluşturduğu problemler

Aslında ilgili literatür 2015 yılına kadar gazlı dedektörler içerisinde iyonik kümelerin varlığından haberdar değildi. Dedektörler içerisinde iyonların oluştuğu

varsayılıyor, üstelik bu iyonların etkileri neredeyse hiçbir fiziksel süreçte dikkate alınmıyordu. Sadece sinyalde görülen iyon kuyruğu gözler önündeydi. Kalkan (2015) tarafından yapılan çalışmalar gazlı detektörlerde oluşan iyonik kümeler gizemini bir ölçüde çöze de boyutlarının belirlenmesi, birkaç teorik hesaplama ile sınırlı kalmıştır. Literatürde yer alan ve iyonik kümelerin boyutlarının belirlenmesi adına yapılmış çalışmalarda kullanılan deney sisteminin parametreleri (Basınç, sıcaklık, vb.) hiçbir şekilde gazlı detektörün çalışma parametreleri ile tam olarak uyuşmamaktadır.

#### **2.4 Moleküler boyut analizinde kullanılan yöntemler**

Bilinen kurama göre; kuarklar nükleonları (proton ve nötronlar), nükleonlar atom çekirdeğini, çekirdek elektronlar ile etkileşerek atomları, atomlar birleşerek moleküller, atomlar ve moleküller birleşerek elementleri, elementler ise çeşitli formlarda birleşerek maddeyi oluştururlar. Birden fazla farklı atomun veya aynı atomların etkileşimi ile meydana gelen yüksüz atom gruplarına molekül denilmektedir. Moleküler boyut, bir molekülün üç boyutlu uzayda kapladığı alanın bir ölçüsüdür. Üç boyutlu uzayda herhangi bir kütlenin kapladığı alan miktarı, özellikle hacmi olarak bilinir. Cebir ve Syracuse Arşimet tarafından keşfedilen yoğunluk formülünü kullanarak, herhangi bir moleküler madde kütlesi için bir molekülün moleküler boyutu belirlenebilir. Kabaca moleküler boyutun yaklaşık bir ölçüsü olarak, atom sayısı da verilebilir (Winiwarter ve ark., 2007).

Evrende var olan tüm maddelerin fizikokimyasal niteliklerinin ve özellikle biyolojik açıdan incelenebilmesi, özelliklerinin belirlenmesi ve yorumlanabilmesi için moleküler boyutlarının bilinmesi çok önemlidir.

İyonik kümeler ile alakalı araştırmalar incelendiğinde, ana amaç boyutlarını belirlemek ve böylece ne derece etkili olduklarını ortaya koymaktır (Jortner, 1992). Bu konuda parametreler belirlemek ve teori oluşturmak için birçok araştırma yapılmıştır (Hagena, 1972; 1982; 1987; 1992). Bununla birlikte, küme büyüklüğünün güvenilir bir şekilde belirlenmesi oldukça karmaşık bir konudur (Kappes, 1988). En belirgin yöntem, elektron etkisi veya foto-iyonlaşma sonrası bir kütle spektrometresindeki analiz, birkaç deneysel problem içermektedir. İletim ve iyon tespitinde kitle ayırmacılık etkilerinin yanı sıra, nötr küme dağılımı çoklu iyonizasyon veya iyonizasyon indüklenen parçalanma ile ciddi şekilde bozulabilir.

Kütle spektrometrisi, (Mass spectrometry (MS)), kimyasal türleri iyonize edip oluşan iyonları kütle/yük oranını esas alarak sıralayan analitik bir tekniktir. Daha basit

terimler ile, bir kütle spektrumu bir numunen içindeki kütleleri ölçer. Kütle spektrometrisi birçok farklı alanda kullanılır ve kompleks karışımlara uygulandığı kadar saf numunelere de uygulanır.

Bir kütle spektrumu, kütle/yük oranının bir fonksiyonu olan iyon sinyallerinin grafiğidir. Bu spektrumlar, bir numunenin elementsel veya izotopik imzaları, parçacıkların ve moleküllerin kütlelerini belirlemek ve moleküllerin kimyasal yapılarını ortaya çıkarmak için kullanılır.

Tipik bir MS prosedüründe, katı, sıvı veya gaz olabilecek bir numune iyonlaştırılır, bu işlem numuneye elektron bombardımanı ile yapılabilir. Bu işlem bazı numune moleküllerinin yüklü parçalara ayrılmasına sebebiyet verir. Sonrasında bu iyonlar kütle/yük oranına göre birbirinden ayrılırlar, bu ayrılma genellikle onları hızlandırıp bir elektrik veya manyetik alana maruz bırakarak yapılır. Aynı kütle/yük oranına sahip iyonlar aynı sapma hareketini gösterirler (Sparkman, 2000). İyonlar elektron çoğaltıcı gibi yüklü parçacıkları tanımlayabilen bir mekanizma tarafından tespit edilir. Sonuçlar kütle/yük oranının bir fonksiyonu olan belirlenen iyonların bağlı çokluğunun spektrumlar halinde görüntülenir. Numunedeki atomlar veya moleküller bilinen kütlelerin (bir bütün molekül gibi) cihaz tarafından tanımlanmış kütleler veya karakteristik bir parçalanma örneği ile bağdaştırılması ile tespit edilebilir.

Kütle spektrometresi gazlı dedektör içerisinde iyon boyutu ölçümü için uygun bir yöntem değildir.

Tamamen farklı ve tahribatsız bir yöntem, yüksek enerjili elektron kırınımıdır (Farges, 1983; 1986). Kırınım tepelerinin genişliği doğrudan boyutla ilgilidir, ancak yalnızca yapıyı ve sıcaklığı değişken olarak içeren karmaşık bir simülasyon boyut analizini mümkün kılar.

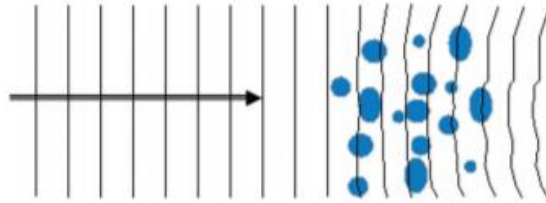
Küme boyutlarını karakterize etmek için başka bir olasılık da atomlarla saçılma deneyleri yapmaktır. (Bier ve Hagen, 1962) tarafından tanıtılan bu yöntem, Gspann tarafından ya ışın zayıflamasını (Burghoff ve Gspann, 1967) ölçerek ya da kütleyle bağlı sapmayı saptayarak büyük kümelerin boyut dağılımlarını belirlemek için kullanılmıştır (Gspann, 1974; 1979).

İyonik küme boyutlarının belirlenmesine yönelik en modern ve son yıllarda en çok kullanılan yöntem lazer ışını kullanarak saçılma deneyleri yapmaktır. İyonik kümelerin ölçülecek boyutları ve kullanılacak lazer ışınının dalga boyu ile kıyaslanarak Rayleigh veya Mie Saçılması gerçekleştirilir. Bu yöntem kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda atom veya moleküller üzerinde veya deney düzeneğinde herhangi bir

tahribat söz konusu olmaz ve genellikle net sonuçlar elde edilir. Bu sebeple bu tez çalışmasında iyonik küme boyutlarının ölçülmesi için Rayleigh Saçılması metodu kullanılmıştır.

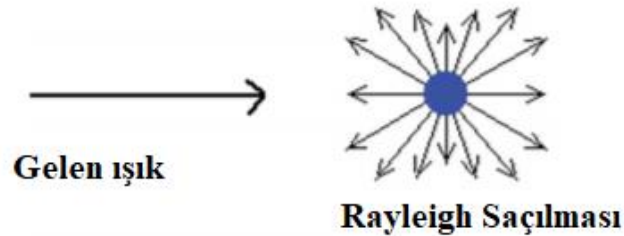
### 2.4.3 Rayleigh Saçılması Yöntemi

Rayleigh saçılması, rastgele homojen olmayan oluşumların bir sonucu olarak ışığın dağılması olayıdır. Bu isim, İngiliz fizikçi Lord Rayleigh (John Strutt Rayleigh)'in adına ithafen verilmiştir. Bu dağılma, bir optik fiberin çekilmesi esnasında soğutulması sırasında camda dondurulan yoğunluk değişimleri, bileşimsel değişiklikler, saf olmayan maddeler ve diğer düzensizlikler gibi mikroskobik refraktif indeks varyasyonları olarak kendini gösterir (bkz. Şekil 2.19). Rayleigh saçılımı elastik saçılma işlemidir, çünkü enerji alışverişi ve frekans kayması yoktur. Saçılma merkezleri durağandır, materyal yapısına dondurulur ve böylece dağılık fotonlar, gelen ışık dalgasıyla aynı dalga boyuna sahiptir. Rayleigh saçılmasının temel bir gerekliliği, saçılma merkezlerinin (ışığın çarptığı cismin boyutu), gelen ışığın dalga boyundan yaklaşık olarak onda biri kadar küçük bir fiziksel boyutu olmalıdır (Lockwood, 2016). Bu durumda, parçacık elektriksel olarak küçüktür ve çapraz faz kayması küçüktür, bu nedenle polarize edilebilirlik veya indüklenen moleküler titreşimler gibi ek etkiler yaratmaz.



Şekil 2. 19 Işığın homojen olmayan bir ortamdan geçerken meydana gelen Rayleigh saçılmasının temsili

Rayleigh saçılımı, saçılım merkezinden her yönde, elektriksel dipolinkine benzer bir radyasyon deseni ile ışığı dağıtır.



Şekil 2. 20 Rayleigh saçılması temsili

Saçılan ışığın şiddeti Rayleigh formülüyle verilir:

$$I = I_0 \frac{8\pi^4 N \alpha^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \Theta)$$

Burada  $I_0$  gelen ışığın şiddeti,  $N$  ışığın üzerinden saçıldığı cisim sayısı,  $\alpha$  kutuplanabilirlik,  $R$  ise cismin çapıdır. Saçılan ışığın şiddetinin dalga boyunun dördüncü kuvveti ile ters orantılı olması, Rayleigh saçılmasının daha kısa dalga boylarında daha güçlü olacağı anlamına gelir. Bu durum, ışığın havadaki su moleküllerinden saçılması sonucu gökyüzünün mavi renkte olmasını açıklamaktadır. Ayrıca saçılan ışığın şiddeti, saçılma açısının bir fonksiyonudur. Bu tez kurgusunda saçılma açısı kolaylık teşkil etmesi bakımından 90 derece olarak belirlenmiştir.

Özel bir durum olarak gelen ışığın dalga boyu, üzerinden saçıldığı cismin boyutuna eşit olduğu durumda “Mie Saçılması” meydana gelir. Oluşan radyasyon deseni farklı olsa da Mie saçılması Rayleigh saçılması ile aynı mekanizmaya sahiptir (Krohn, 2014).

### **Mie Saçılması:**

Alman fizik profesörü Gustav Mie, yayınlamış olduğu makalesinde, rastgele seçilmiş bir metal küreden saçılan elektromanyetik dalgalar için analitik bir çözüm sunmuş; bu yayına istinaden, küreden ışınma-saçılma problemleri, sonraki dönemde Mie teorisi olarak literatürde yer edinmiştir. Mie saçılımı, mie teorisi gelen ışığın dalga boyuna eşit ya da ondan daha büyük bir çapa sahip olan parçacıkların elastik saçılma işlemidir (Lockwood, 2016).

### **Rayleigh Saçılması Yöntemi ile Parçacık Boyutunun Belirlenmesi**

Özellikle vurgulanmalıdır ki; gaz fazında iyonik kümelerin boyutlarının belirlenmesi üzerine kurgulanan böyle bir deneyde zayıf bir lazer ışığı kullanılmalıdır. Ayrıca gelen lazer ışığının sadece küçük bir kısmı saçılacağından algılayıcı sistem oldukça hassas olarak tasarlanmalıdır. Bu tez çalışmasında kullanılan deney sisteminin tasarımında bu hususlar göz önünde bulundurulmuştur.

Fresnel–Kirchhoff denklemi olarak bilinen, ışığın üzerinden saçılacağı örneğin sınır şartlarından yola çıkılarak geliştirilen eski bir tekniğin aksine Rayleigh, vektör-pertürbasyon tekniğine dayanan yeni yaklaşımını 1895 ve 1907 yıllarında literatüre

kazandırmıştır (Stover, 2012). Klasik bir Rayleigh saçılması için tesir kesiti aşağıdaki gibi verilebilir (Jackson, 1975):

$$\sigma = \frac{8\pi R_C^6}{3\lambda^4} \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2$$

Burada  $R_C$  iyonik küme yarıçapı,  $\lambda$  ortama gönderilen lazer ışığının dalga boyu,  $n$  ortamın kırıcılık indisidir.  $N_C$  tane atom içeren bir iyonik küme için iyonik küme yarıçapı (Smirnov, 2010):

$$R_C = N_C^{\frac{1}{3}} \cdot r$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada iyonik kümeyi oluşturan atom veya moleküllerden birisinin yarıçapıdır. Böylece Rayleigh saçılmasından alınan sinyal için (Lei An-Le, 2000);

$$S_{RS} \propto n_c \sigma \propto n_c R_C^6 \propto n_c N_C^2$$

yazılabilir. Burada  $N_C$  iyonik kümenin yoğunluğudur. Ayrıca  $S_{RS}$  Rayleigh saçılmasından alınan sinyalin şiddetidir. Ortamdaki tüm atom veya moleküllerin iyonik küme oluşturduğu varsayılırsa;

$$n_c \propto \frac{n_0}{N_C}$$

$$S_{RS} \propto n_0 N_C \propto P_0 N_C$$

Burada  $n_0$  gazın yoğunluğu ve  $P_0$  ise ortamın gaz basıncıdır. Literatürdeki birçok çalışma (Hagena, 1972; Farges, 1986);

$$N_C \propto P_0^{2-2,5}$$

ilişkisini ortaya koymuştur. Böylece sinyal şiddeti için (Lei An-Le, 2000);

$$S_{RS} \propto P_0 N_C \propto P_0^{3-3,5}$$

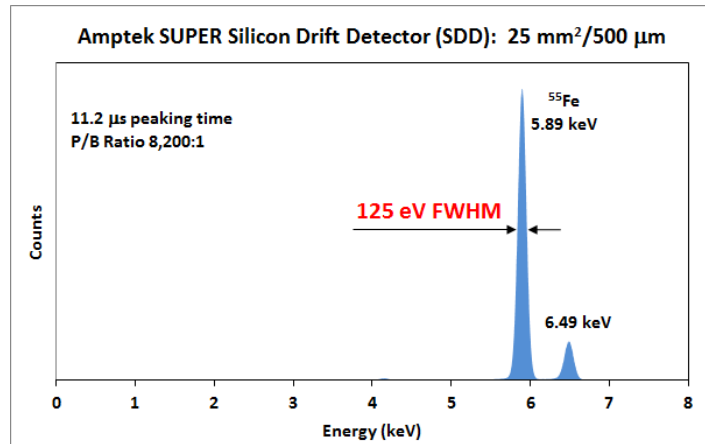
sonucu ortaya çıkmış olur. Tasarlanan deneyde alınan sinyal şiddetinin basınçla olan bu ilişkisinin doğrulanması, deneyin başarısının önemli bir kriteri olarak kabul edilecektir. Sonuç olarak;

$$S_{RS} \propto P_0 N_C$$

ilişkisi deneyden belirli bir basınçta elde edilecek sinyal şiddetinin belirlenmesi yoluyla iyonik kümelerin boyutları belirlenecektir

## 2.5 <sup>55</sup>Fe Spektrumu

Demir-55, Manganez-55'e 2.737 yıl yarı ömür ile elektron yakalama yoluyla bozular (Georges, 2003). Çekirdeğin etrafındaki elektronlar, çekirdek tarafından hızla yakalanır. Çekirdek tarafından yakalanan elektron, çekirdekteki protonlardan birisiyle etkileşime girer. Bu etkileşim sonucunda, bir adet nötron ve nötrino oluşur. Kısa bir süre sonra, yakalanan elektronun bıraktığı "K" kabuğundaki boşluk, daha yüksek bir kabuktan bir elektron tarafından doldurulur. Enerjideki fark olarak, 5.19 KeV 'luk bir enerjiye sahip X\_ışını fotonu serbest bırakılmış olur.'nin haşlanmasıyla serbest bırakılır. Yaklaşık %60, K-alpha-1 x-ışınları 5,89875 KeV ile yaklaşık %60, K-alpha-1 x-ışınları ve yaklaşık % 16.2, K-alpha-2 X-ışınları olasılığı 5.88765 KeV enerjisi ve yaklaşık% 8.2 olasılık veya 6,49045 KeV nominal enerjili K-Beta X ışınları ve yaklaşık% 2,85 olasılıkla yayımlanır, K-alpha-1 ve -2 x-ışınlarının enerjileri, genellikle 5.9 KeV foton enerjisi ile mono-enerjik radyasyon olarak belirtilenlerdir. Olasılık yaklaşık %28'dir (Esam, 2003).



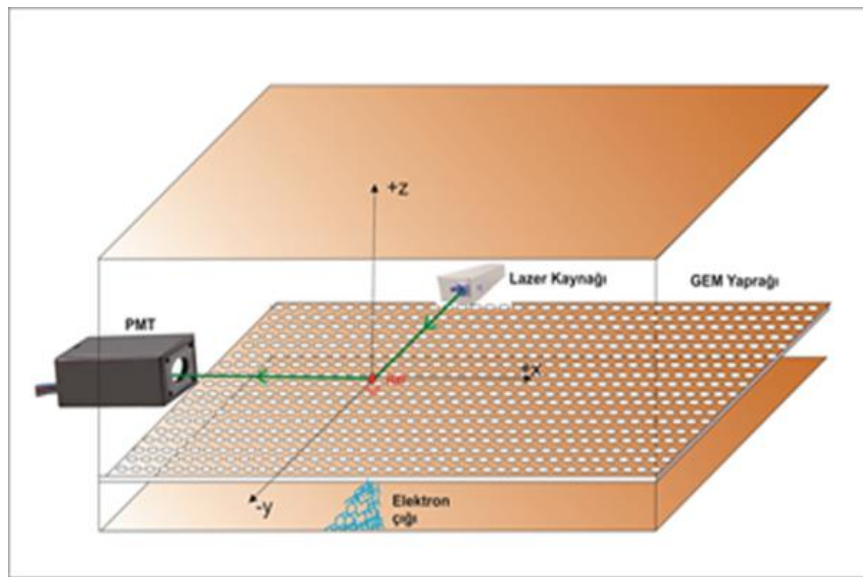
Şekil 2. 21 Demir-55 spektrumu

Dolayısı ile Demir-55 kaynağı büyük olasılıkla 5.89 KeV enerjili X-ışınları yayımlar.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Tasarlanan Deneye Uygun GEM (Gas Electron Multiplier) Detektörünün Yapılması

Işığın saçılması yöntemi ile hacim tayini hali hazırda kullanılan ve oldukça güvenilir bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak, literatürde ilk defa gazlı detektörlerin çalışma parametrelerinde (sıcaklık, nem, basınç vs.) ve detektör çalışırken iyonik kümelerin boyutları belirlenmiştir. Bunun yanında bu tez çalışması kapsamında tasarlanan deney sistemi, literatürde yer alan deney sistemlerinden tamamen farklıdır. Gazlı detektörler içerisinde oluşan iyonik kümelerin boyutunu, Rayleigh saçılması yöntemi ile ölçmek için bir deney düzeneği tasarlanmıştır (Şekil 3.2). Düzeneğin ana ögesi, klasik bir GEM detektörüdür (Şekil 3.1). Ancak elde edilecek sonuçlar tüm gazlı detektörler için geçerlidir. Çünkü; bu çalışma kapsamında ölçülecek fiziksel parametreler dedektörün değil, kullanılacak gaz karışımı, sıcaklık ve nem gibi parametrelerin birleşiminden oluşan genel bir gazlı dedektör ortamının karakteristik özellikleridir. CERN'den alınmış olan ve laboratuvar envanterinde mevcut bulunan orijinal bir GEM yaprağı, el yapımı iki bakır elektrot kullanılarak bir GEM detektörü haline getirilmiştir. Katot elektrot yaprağın üst kısmına, yaprağa 2 cm mesafeye sabitlenmiştir. Anot elektro ise yaprağın alt kısmına 0,5 cm mesafeye yerleştirilecektir. Elektrotlar GEM yaprağına olası kısa devre problemlerini engellemek adına plastik vidalar ile sabitlenmiştir.



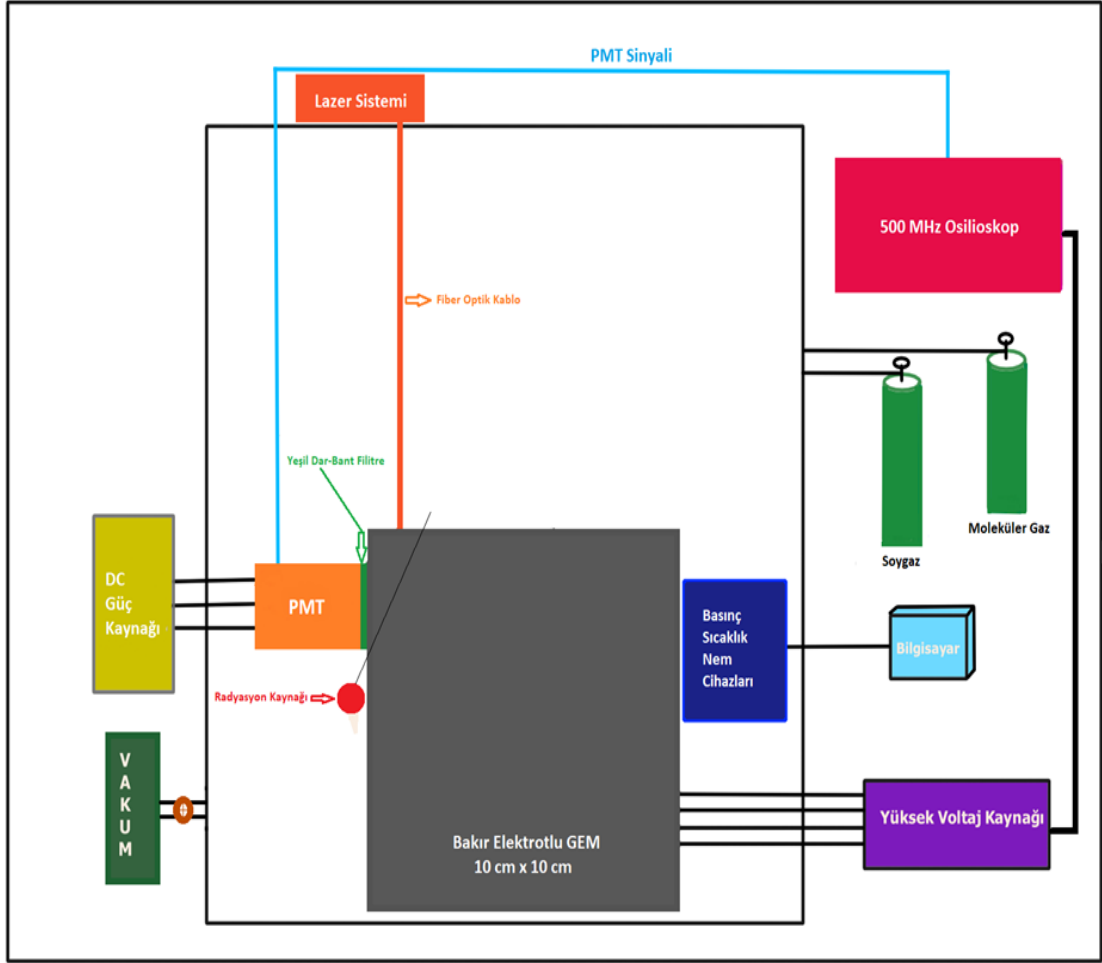
Şekil 3. 1 Üç boyutlu olarak deneyin temsili

Böylece iki bölümden oluşan tasarlanan deneye uygun bir GEM detektörü yapılmıştır. Bu bölümlerden birisi; gelen parçacık ile gaz atom-moleküllerinin etkileşimi sayesinde ilk iyonlaşmaların olacağı iyonlaşma bölgesi, ikincisi ise çığ elektronlarının anot üzerinde sinyal indüklediği bölgedir. Detektör hacminde elektrik alanın en şiddetli olduğu kısım olması sebebiyle iyonlaşmalar yoğun olarak GEM yaprağı üzerindeki deliklerin içinde olacaktır (Correia, 2014). Amaç iyonik kümelerin boyutlarının ölçülmesi olduğundan, ortamdaki elektrik alanın etkisi ile katota doğru ilerleyen iyonik kümelerin bulunduğu bölge (Drift area), ölçümün yapılacağı ve bu çalışma için asıl önemli olan bölgedir.

### **3.2 Gaz kutusu ve içeriğinin hazırlanması**

Paslanmaz çelikten yapılmış, 60 lt hacminde bir genleşme tankı gaz kutusu olarak kullanılmıştır. İyonik küme ölçümü yapılacak gazı kutu içerisine göndermeden önce, kutu içerisindeki havanın ve yabancı maddelerin tahliye edilmesi bir vakum pompası aracılığıyla sağlanmıştır. UPI7-2200 Universal dijital kontrol cihazları kullanılarak ortamın nem ve sıcaklık değerleri ölçülüp kaydedilmiştir.

Bu tez çalışması sırasında saf Argon, Saf Karbondioksit, Saf Azot ve %80 Argon - %20 Karbondioksit gaz karışımı kullanılarak, Demir-55 kaynağından saçılan X-ışını radyasyonu ile ortaya çıkan iyonik kümelerin boyutları Rayleigh Saçılması yöntemi ile ölçülmüştür. Çalışmanın gaz karışımı kullanılarak yapılan bölümünde gaz karışım oranı akış-metreler kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3. 2 Gaz kutusu içeriği ve deneyin temsili

Detektör içerisinde Şekil 3.1’de ayrıntıları görülen 4 adet elektrot bulunur. Bunlar Katot, GEM yaprağının üstü, GEM yaprağının altı ve Anot elektrotlarıdır. Bu elektrotlara laboratuvarında mevcut olan yüksek voltaj güç kaynağı kullanılarak potansiyel fark uygulanacaktır. Böylece sürüklenme bölgesinde 150 V/cm ve sinyal indükleme bölgesinde 100 V/cm şiddetinde elektrik alan meydana getirilmiştir. Deneyde ortama gönderilmek üzere, CNI marka, darbeli 532 nm dalga boyunda, 500  $\mu$ J enerjiye sahip 10 mW gücünde lazer üretecek kompakt bir lazer kaynağı kullanılmıştır. Lazer ışığı deneyin yapıldığı kabin içerisine finer-optik kablo ile gönderilmiştir. Lazer kaynağından gelen ve ortamdaki iyon, molekül veya iyonik kümeler üzerinden saçılan lazer ışığını yükseltmek ve sinyale dönüştürmek için bir adet Hamamatsu marka H11901 model PMT (Photo Mutiplier Tube) kullanılmıştır. Sistem, PMT’nin algılama doğrultusu, lazer ışığı ve iyonun hareket doğrultusu birbirine dik olacak şekilde ayarlanmıştır.

### 3.3 Rayleigh saçılması yöntemi ile parçacık boyutunun belirlenmesi deneyi

Rayleigh saçılması bu çalışma kapsamında sadece yöntem olarak, amaç değil bir araç olarak kullanılmıştır. İyonik kümeler üzerinden saçılan lazer ışını, PMT ile algılanarak laboratuvarımızda mevcut bulunan 500MHz'lik bir Osiloskop ile görüntülenmiştir. Ortam oda sıcaklığında ve deney öncesi vakumlanarak Azot ile birkaç defa yıkama yapılan deney kabini içindeki gazın basıncı 1-7.5 Atm arasında değiştirilerek deney yapılmıştır. Azot gazı için regülatörün özelliği sebebi ile çıkılabilen maksimum değer 4.5 Atm olmuştur.

### 3.1 Sinyalin Elektriksel Gürültüden Arındırılması

İyonik küme üzerinden saçılan lazer ışını bir PMT ile algılanmıştır. Deney sisteminde kullanılan PMT, dahili bir ön yükseltici devreye sahiptir. Bu özellik sayesinde PMT sinyali elektriksel gürültüye rağmen osiloskoptan açıkça gözlenmiştir. Ortamda saçılan lazer ışığının çok düşük olması durumunda, PMT sinyalini elektriksel gürültüden ayırabilmek için dahili yükselticisinin yetersiz olması halinde laboratuvarında mevcut bulunan elektronik ön-yükseltici kullanılmıştır. Kullanılan PMT'nin sinyal çıkışı elektrik akımı olduğu için bunu voltaja dönüştürmek için kullanılan işlevsel yükseltici (OPERATIONAL AMPLIFIER) devresinin de elektriksel gürültüyü önemli ölçüde engellediği gözlenmiştir.

İyonik kümeler üzerinden saçılan lazer ışını, yüksek frekanslı (350 MHz) bir Osiloskop ile görüntü alınmıştır. Ortam oda sıcaklığında ve kutu içindeki gazın basıncı 1 Atm olacaktır. Bu parametreler bir GEM detektörünün standart çalışma parametreleridir.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında GEM dedektörü içerisinde oda sıcaklığında %80 Argon - %20 Karbondioksit karışımı, Saf Argon, Saf Karbondioksit ve Saf Nitrojen (Azot) gazları ve iyonlaştırıcı radyasyon olarak Demir-55 kaynağından çıkan X ışını spektrumu kullanılmıştır. Dedektörün sürüklenme bölgesine gönderilen 532 nm dalga boyundaki lazer ışığının 90 derecelik açı ile saçılan (Rayleigh Saçılması) kısmı PMT üzerine düşürülerek elde edilen akım sinyali kurulan bir OPAMP devresi ile voltaja dönüştürülerek Osiloskop ile görüntülenmiştir. Görüntülenen sinyaller karıştırılarak fiziksel çıkarımlar yapılmıştır. Ayrıca sinyal boyları (peak to peak) karşılaştırılarak Rayleigh saçılması yöntemi ile ölçülen boyutlar ekstrapolasyon yöntemi ile belirlenmiş, iyonik kümelerin literatürdeki boyutları ile karşılaştırılarak, dedektör içerisinde oluşan iyon veya iyonik kümelerin ölçülen boyutları hakkında sonuçlar ortaya konulmuştur.

##### 4.1 Argon – Karbondioksit Karışımı İçin Elde Edilen Sonuçlar

Deney kabini deney öncesi 0.2 Atm basınca kadar vakumlanmıştır. Kabin içi birkaç defa Nitrojen (Azot) ile yıkanmış tekrar vakumlanmıştır. Böylece kabin içerisindeki kirlilik büyük ölçüde temizlenmiştir. Bu aşamadan sonra kabin içerisine dakikada 1 L Karbondioksit ile 4 L Argon gazı eklenerek regülatörlerin sınırı olan 7.5 Atm basınca kadar periyodik olarak kabin içerisine gaz eklenmiştir. Kullanılan Karbondioksit gazının saflığı %99.995 ve Argon gazının saflığı %99.999 ‘dur.

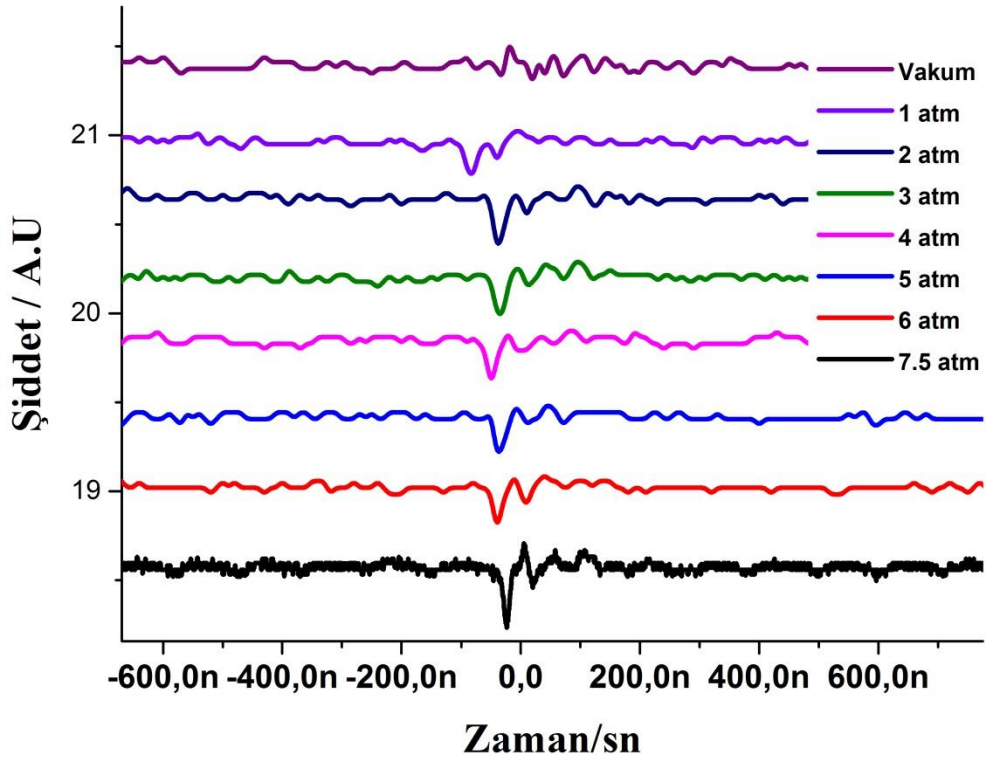
##### 4.1.1 Darbe frekansı 1 KHz olan lazer ve sürüklenme bölgesi gerilim 300 Volt olan GEM dedektörü ile gözlenen Rayleigh Saçılması sinyalleri ve gözlenen sinyal şiddetleri (peak to peak)

Oda sıcaklığında %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak aşağıdaki sinyaller elde edilmiştir. Darbe frekansı **1 KHz** olan lazer ve GEM dedektörünün sürüklenme bölgesi gerilimi **300 Volt** olarak ayarlanmıştır.

Deney kabini vakumda iken (0.2 Atm); sadece ortamda kalan olası kirlilik ve Nitrojen (Azot) gazından saçılan ışıktan alınan sinyal ve elektriksel gürültüden oluşan bir bileşim gözlenmektedir (Bkz. Şekil 4.1). 224.9 mV, 262.4 mV, 299.9 mV, 337.4 mV, 374.9 mV gibi sinyal şiddetlerine (peak to peak boyları) deney kabini vakumda iken sıklıkla rastlanmış, kabin gaz karışımı ile doldurulup gaz basıncı artarken bu

değerler ile karşılaşılma sıklığı giderek azalmış, birçoğu 7.5 Atm basınca ulaşıldığında neredeyse hiç tespit edilmemiştir (Bkz. Tablo 4.1).

Ortama gaz karışımı verildiği anda negatif yönde belirgin sinyal olumunun başladığı gözlenmiş, 1 Atm basınca ulaşıldığında net bir sinyal oluşmuş 4-5 Atm basınca kadar oluşan sinyal şiddetini korumuştur. Kabin içerisindeki basınç 6 Atmosferi geçtiğinde sinyal şiddetinde ciddi bir artış gelişmiştir. 7.5 Atm basınçta maksimum şiddette saçılma sinyali gözlenmiştir (Bkz. Şekil 4.1).



Şekil 4.1 %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış Rayleigh Saçılma sinyalleri

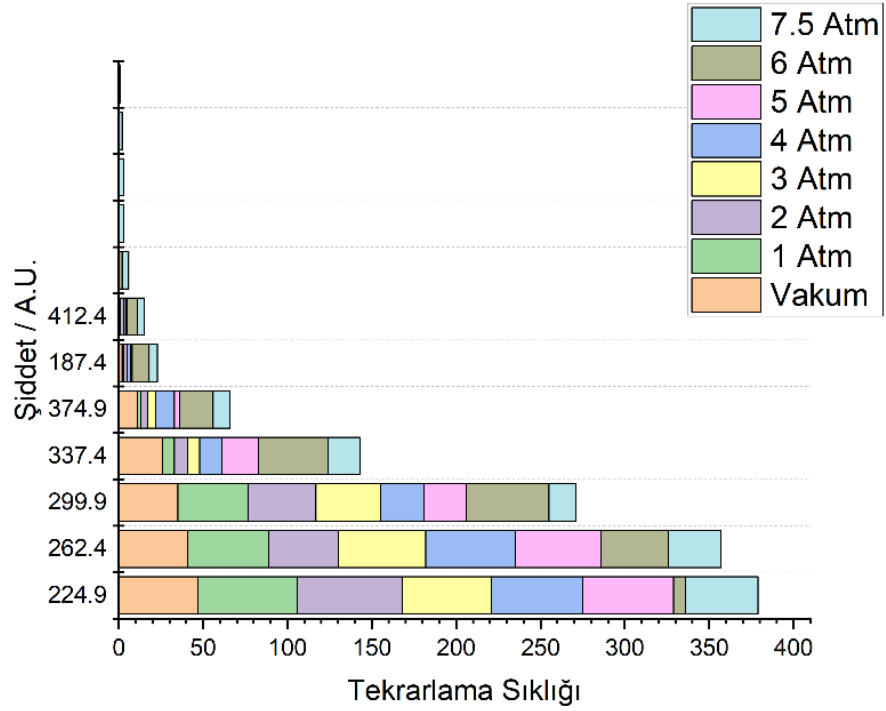
Oda sıcaklığında %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak aşağıdaki sinyal şiddetleri (peak to peak) aşağıdaki gibi kaydedilmiştir (Tablo 4.1). Deneyde kullanılan lazer darbe frekansı 1 KHz olarak ayarlanmıştır. GEM dedektörünün sürüklenme bölgesinde 300 Volt ve GEM dedektörünün sinyal indükleme bölgesine 20 Volt gerilim uygulanmıştır. Bu potansiyel farklar, dedektörün sürüklenme bölgesinde 150 Volt/cm, sinyal indükleme bölgesinde ise 100 Volt/cm elektrik alan oluşturmuştur. Deneyin amacı GEM dedektörü içerisinde oluşan iyonik kümelerin boyutlarının ölçülmesi olduğu ve iyonik kümelerin oluşum ve etkileri dedektörün sürüklenme bölgesinde olduğu için sinyal indükleme bölgesinde temsili bir elektrik alan meydana getirilmiştir.

**Tablo 4. 1** %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate))

0.2 Atm		1 Atm		2 Atm		3 Atm		4 Atm		5 Atm		6 Atm		7.5 Atm	
SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R
224.		262.		262.		299.		262.		374.		337.		449.	
9	47	4	59	4	62	9	53	4	54	9	54	4	7	9	43
262.		224.		224.		262.		299.		337.		374.		487.	
4	41	9	48	9	41	4	52	9	53	4	51	9	40	3	31
299.		299.		299.		337.		337.		299.		412.		524.	
9	35	9	42	9	40	4	38	4	26	9	25	4	49	8	16
337.		337.		337.		374.		374.		412.		449.		412.	
4	26	4	7	4	8	9	7	9	13	4	22	9	41	4	19
374.		374.		262.		224.		224.		449.		487.		187.	
9	11	9	2	9	4	9	5	9	11	9	3	3	20	4	10
187.				374.				412.		337.		524.		262.	
4	2	1449	1	9	2			4	2	7	1	8	10	4	5
412.				412.				262.		487.		562.		562.	
4	1			4	2			9	1	3	1	3	6	3	4
												599.		224.	
												8	2	9	4
														374.	
														9	3
														299.	
														9	3
														337.	
														4	2
														449.	
														3	1

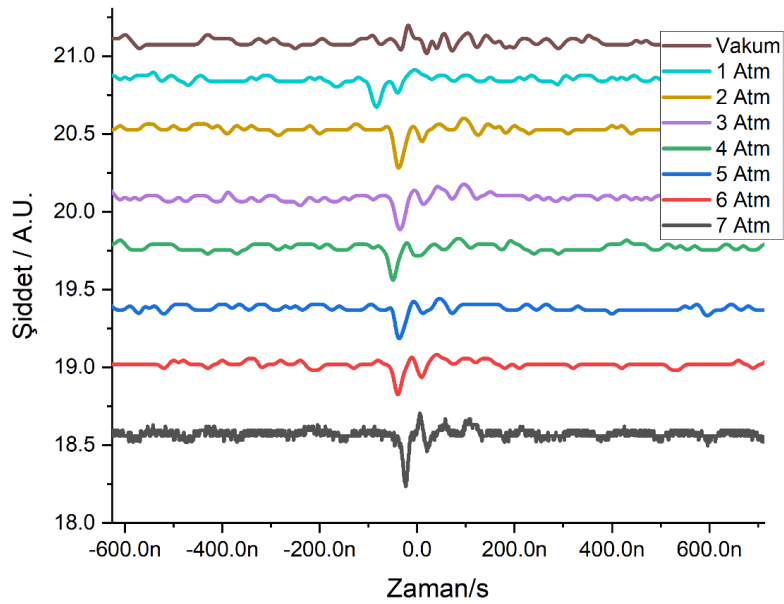
Tablo 4.1’de 449.9 mV, 487.3 mV, 524.8 mV gibi sinyal şiddetlerine rastlanma sıklığı 4 Atm basınç sonrasında artmış ve bu değerler baskın hale gelmiştir.

Tüm basınç değerlerinde elde edilen sinyal şiddetleri (SRS) aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4. 2 %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış sinyal şiddetlerinin (peak to peak) tekrarlama sıklığı

#### 4.1.2 Darbe frekansı 1 KHz olan lazer ve sürüklenme bölgesi gerilim 90 Volt olan GEM dedektörü ile gözlenen Rayleigh Saçılması sinyalleri ve gözlenen sinyal şiddetleri (peak to peak)



Şekil 4. 3 %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 90 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış Rayleigh Saçılma sinyalleri

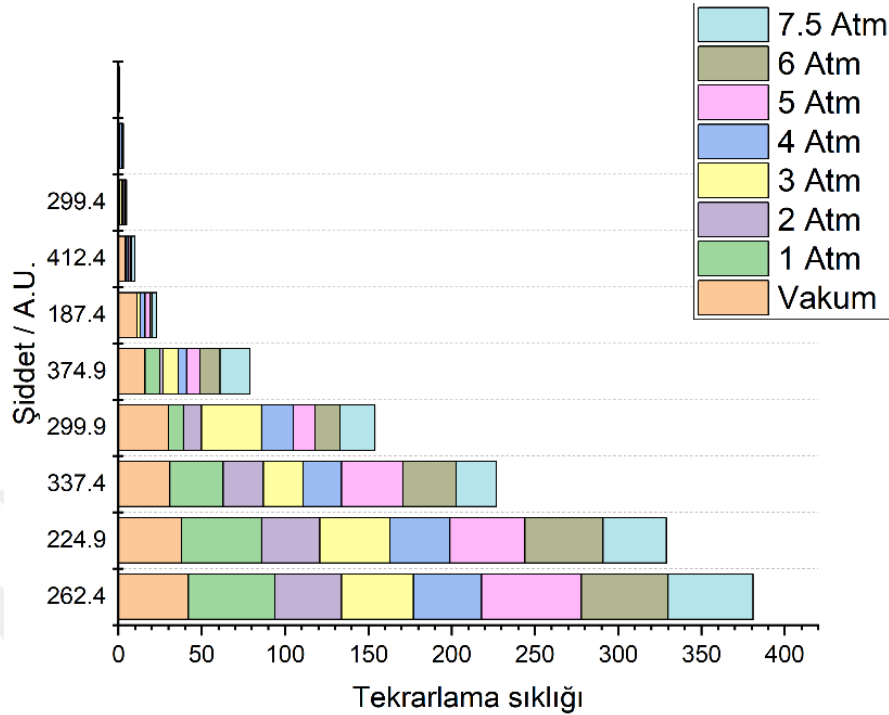
Oda sıcaklığında %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak aşağıdaki sinyal şiddetleri (peak to peak) aşağıdaki gibi kaydedilmiştir. Deneyde kullanılan lazer darbe frekansı **1 KHz** olarak ayarlanmıştır. GEM dedektörünün sürüklenme bölgesinde **90 Volt** ve GEM dedektörünün sinyal indüklenme bölgesine 20 Volt gerilim uygulanmıştır. Bu potansiyel farklar, dedektörün sürüklenme bölgesinde 150 Volt/cm, sinyal indüklenme bölgesinde ise 100 Volt/cm elektrik alan oluşturmuştur. Deneyin amacı GEM dedektörü içerisinde oluşan iyonik kümelerin boyutlarının ölçülmesi olduğu ve iyonik kümelerin oluşum ve etkileri dedektörün sürüklenme bölgesinde olduğu için sinyal indüklenme bölgesinde temsili bir elektrik alan meydana getirilmiştir.

Değişik basınç değerlerinde elde edilen sinyal şiddetleri ve bunların tespit edilme sıklığı Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Aslında Bölüm 4.1.1’de yapılan yorumlar bu bölümde elde edilen sonuçlar için de uygundur. Sadece GEM sürüklenme bölgesi voltajının daha düşük olması durumunda daha büyük yapıların da tespit edilebilmiştir. Bunun sebebi; daha küçük elektrik alanda sürüklenen iyonların veya iyonik kümelerin daha düşük mobiliteler ile hareket etmeleri, böylece lazer ışığı ile daha uzun süre etkileşim halinde kalabilmesi olarak öngörülmüştür.

**Tablo 4. 2** %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 90 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate))

0.2 Atm		1 Atm		2 Atm		3 Atm		4 Atm		5 Atm		6 Atm		7.5 Atm	
SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R
262.4	42	299.9	52	262.4	40	337.4	43	299.9	41	374.9	60	374.9	52	449.9	51
224.9	38	262.4	48	224.9	35	299.9	42	337.4	36	337.4	45	337.4	47	487.3	38
337.4	31	337.4	32	299.9	24	374.9	24	262.4	23	412.4	37	412.4	32	524.8	24
299.9	30	224.9	9	337.4	11	262.4	36	374.9	19	449.9	13	449.9	15	412.4	21
374.9	16	374.9	9	374.9	2	412.4	9	412.4	5	299.9	8	299.9	12	562.3	18
187.4	11					449.9	2	449.9	3	487.3	3	412.9	1	637.3	3
412.4	4					224.9	1	487.3	1	524.8	1	487.3	1	599.8	2
299.4	1					337.7	1	337.7	1	599.8	1			528.8	1
						487.3	1	382.2	1					712.3	1
														599.9	1

Tüm basınç değerlerinde elde edilen sinyal şiddetleri (SRS) aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4. 4 %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 90 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış sinyal şiddetlerinin (peak to peak) tekrarlaması sıklığı

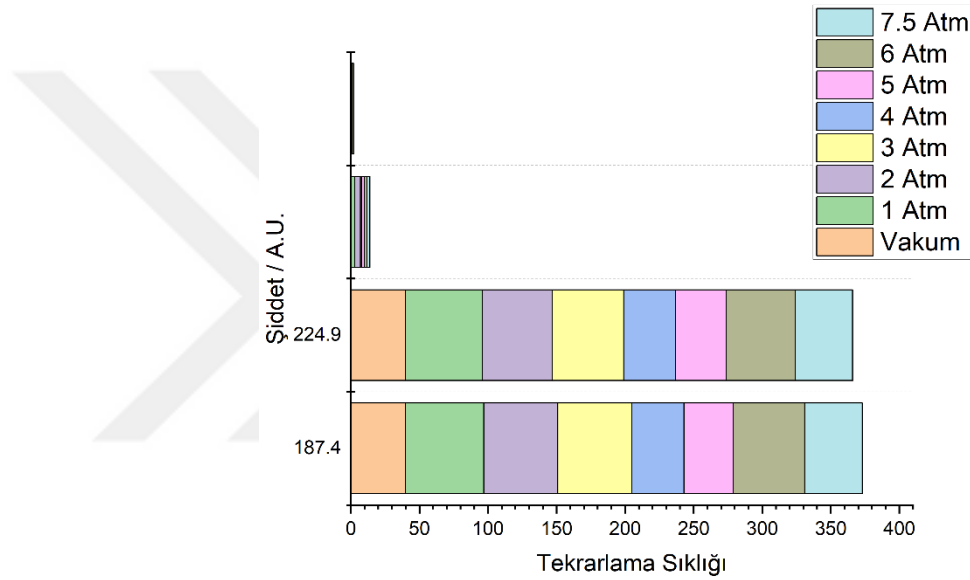
#### 4.1.3 Darbe frekansı 5 KHz olan lazer ve sürüklenme bölgesi gerilim 300 Volt olan GEM dedektörü ile gözlenen Rayleigh Saçılması sinyalleri

Oda sıcaklığında %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak aşağıdaki sinyal şiddetleri (peak to peak) aşağıdaki gibi kaydedilmiştir. Deneyde kullanılan lazer darbe frekansı **5 KHz** olarak ayarlanmıştır. GEM dedektörünün sürüklenme bölgesinde **300 Volt** ve GEM dedektörünün sinyal indüklenme bölgesine 20 Volt gerilim uygulanmıştır. Bu potansiyel farklar, dedektörün sürüklenme bölgesinde 150 Volt/cm, sinyal indüklenme bölgesinde ise 100 Volt/cm elektrik alan oluşturmuştur. Deneyin amacı GEM dedektörü içerisinde oluşan iyonik kümelerin boyutlarının ölçülmesi olduğu ve iyonik kümelerin oluşum ve etkileri dedektörün sürüklenme bölgesinde olduğu için sinyal indüklenme bölgesinde temsili bir elektrik alan meydana getirilmiştir.

Elde edilen sinyal şiddetleri Tablo 4.3'deki gibi kaydedilmiştir. Deneyde daha yüksek darbe frekanslı lazer kullanıldığında yüksek sinyal şiddetlerine rastlanmadığı gözlenmiştir. Bu durum darbe süresinin (pulse duration) kısa olması ile açıklanabilir.

**Tablo 4. 3** %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak 5 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate))

0.2 Atm		1 Atm		2 Atm		3 Atm		4 Atm		5 Atm		6 Atm		7.5 Atm	
SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R
187.4	40	187.4	57	187.4	54	187.4	54	224.9	38	187.4	36	224.9	52	187.4	42
224.9	40	224.9	56	224.9	51	224.9	52	187.4	38	224.9	37	187.4	50	224.9	42
		262.4	3	262.4	4	262.4	1			187.9	2	187.9	2	262.4	2
				187.7	1							262.4	1		



**Şekil 4. 5** %80 Ar - %20 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak 5 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış sinyal şiddetlerinin (peak to peak) tekrarlama sıklığı

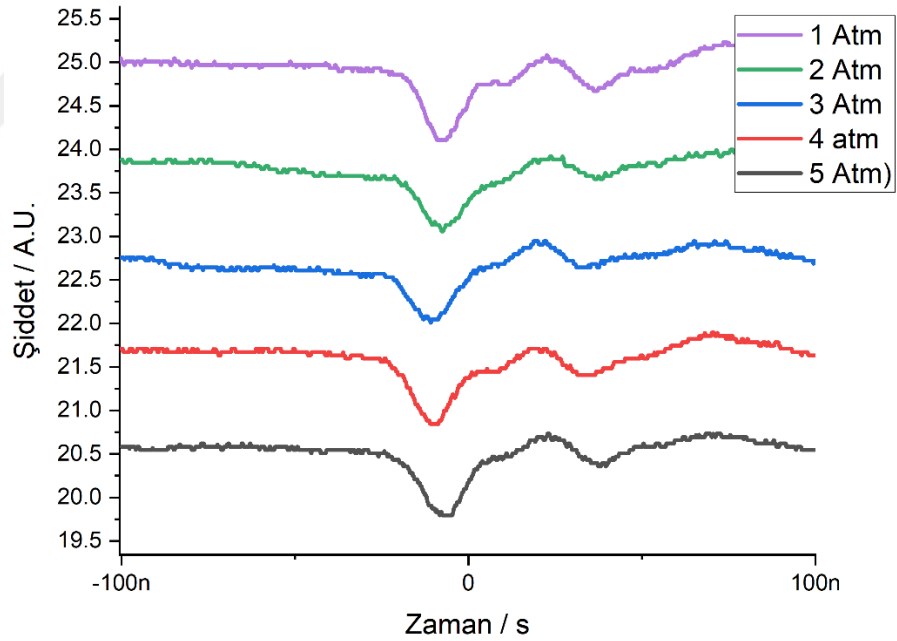
Şekil 4.5'den görüldüğü üzere lazer darbe frekansının yüksek olduğu durumda kabinde kalan olası kirlilik ve Nitrojen (Azot) gazından kalıntılardan elde edilen düşük şiddette sinyaller gözlenmiştir. Karışım gaz basıncının artması ile oluşan daha büyük yapılar tespit edilememektedir. Farklı frekanslarda alınan veriler aynı anda aynı fiziksel ortam için elde edilmiştir. Dolayısıyla; tamamen aynı koşullarda 1 KHz lazer darbe frekansı ile alınan sinyal şiddetlerine 5 KHz lazer darbe frekansı ile ulaşamamıştır. Bu sonuç darbe süresinin (pulse duration) kısa olmasına bağlanmıştır.

#### 4.2 Saf Karbondioksit İçin Elde Edilen Sonuçlar

Oda sıcaklığında **Saf Karbondioksit** gazı kullanılarak aşağıdaki sinyal şiddetleri (peak to peak) aşağıdaki gibi kaydedilmiştir. Deneyde kullanılan lazer darbe frekansı **1 KHz** olarak ayarlanmıştır. GEM dedektörünün sürüklenme bölgesinde **300 Volt** ve

GEM dedektörünün sinyal indüklenme bölgesine 20 Volt gerilim uygulanmıştır. Bu potansiyel farklar, dedektörün sürüklenme bölgesinde 150 Volt/cm, sinyal indüklenme bölgesinde ise 100 Volt/cm elektrik alan oluşturmuştur. Deneyin amacı GEM dedektörü içerisinde oluşan iyonik kümelerin boyutlarının ölçülmesi olduğu ve iyonik kümelerin oluşum ve etkileri dedektörün sürüklenme bölgesinde olduğu için sinyal indüklenme bölgesinde temsili bir elektrik alan meydana getirilmiştir.

Sinyaller incelendiğinde deney kabini içerisindeki Karbondioksit gazı basıncının değişiminin sinyal şeklini ve şiddetini önemli ölçüde değiştirmediği dikkat çekmiştir. Karbondioksit molekülü kutuplanabilirliği yüksek dolayısı ile bağlanabilirlik potansiyeli yüksek bir yapıya sahiptir. Minimum koşullar sağlandığında Karbondioksit molekülleri birbiri ile veya çevrede bulunan öteki atom veya moleküllerle bağlanarak çeşitli yapılar oluşturur. Ortamdaki Karbondioksit yoğunluğunun artması, eser miktarda daha büyük yapıların oluşmasını sağlasa da genel durumun değişmesi zaten beklenmez. Bu açıdan deney sonuçları beklentiler dahilinde değerlendirilmiştir.



Şekil 4. 6 Saf CO<sub>2</sub> kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış Rayleigh Saçılma sinyalleri

Bir başka dikkat çeken husus olarak Saf Karbondioksit ile elde edilen sinyal şiddetlerinin birçoğuna Argon-Karbondioksit karışımı ile yapılan deneyde rastlanmamış olmasıdır. Bunun sebebi; moleküler yapıların etkileşme mekanizmalarının, ortama bir

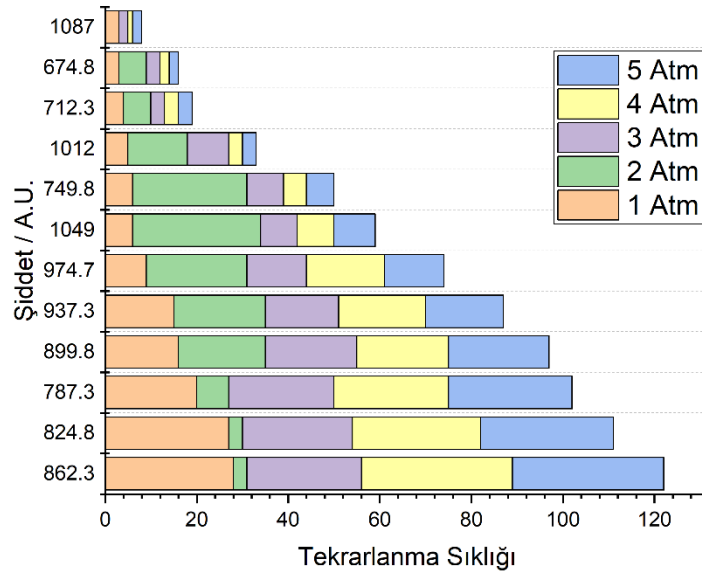
miktar soygaz eklenmesi ile büyük oranda değişiklik göstermesidir. Örneğin artık yük değiş-tokuşu reaksiyonları gündeme gelecektir.

Saf Karbondioksit gazı kullanılarak elde edilen sinyal şiddetleri Tablo 4.4'teki gibi kaydedilmiştir.

**Tablo 4. 4** Saf CO<sub>2</sub> kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate))

0.2 Atm		1 Atm		2 Atm		3 Atm		4 Atm		5 Atm	
SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R
187.4	45	862.3	28	101.2	3	787.3	25	862.3	33	862.3	33
149.9	44	824.8	27	108.7	1	749.8	24	899.8	28	899.8	29
		787.3	20	112.4	1	824.8	23	824.8	25	824.8	27
		899.8	16	119.9	1	862.3	20	937.3	20	937.3	22
		937.3	15	153.7	1	899.8	16	787.3	19	974.7	17
		974.7	9	168.7	1	937.3	13	974.7	17	787.3	13
		1049	6	562.3	1	1012	8	1012	8	1.012	9
		749.8	6	599.8	1	712.3	8	749.8	5	787.3	6
		1012	5	637.3	3	974.7	9	1087	3	.049	3
		712.3	4	674.8	7	1049	3	1049	3	087	3
		674.8	3	712.3	19	1124	3	1124	2	749.8	2
		1087	3	749.8	20	899.9	2	1162	1	1274	2
		1237	1	787.3	22	637.3	1	1274	1	1162	1
		1124	1	824.8	28	1087	1	1237	1	1237	1
		1199	1	862.3	25			1199	1	1199	1
		1162	1	899.8	13			712.3	1	712.3	1
				937.3	6						
				974.7	6						

Şekil 4.7 incelendiğinde Argon-Karbondioksit gazı ile yapılan karışımın aksine, saf Karbondioksit ile yapılan deneyde, vakumda tespit edilen sinyal şiddetlerine, deneyin sonraki aşamalarında rastlanmamıştır. Bu durum yine Karbondioksitin yüksek kutuplanabilirliği sayesinde hızla bağlanarak yeni yapılar oluşturma eğilimi ile açıklanabilir.



Şekil 4. 7 CO<sub>2</sub> karışımı kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış sinyal şiddetlerinin (peak to peak) tekrarlama sıklığı

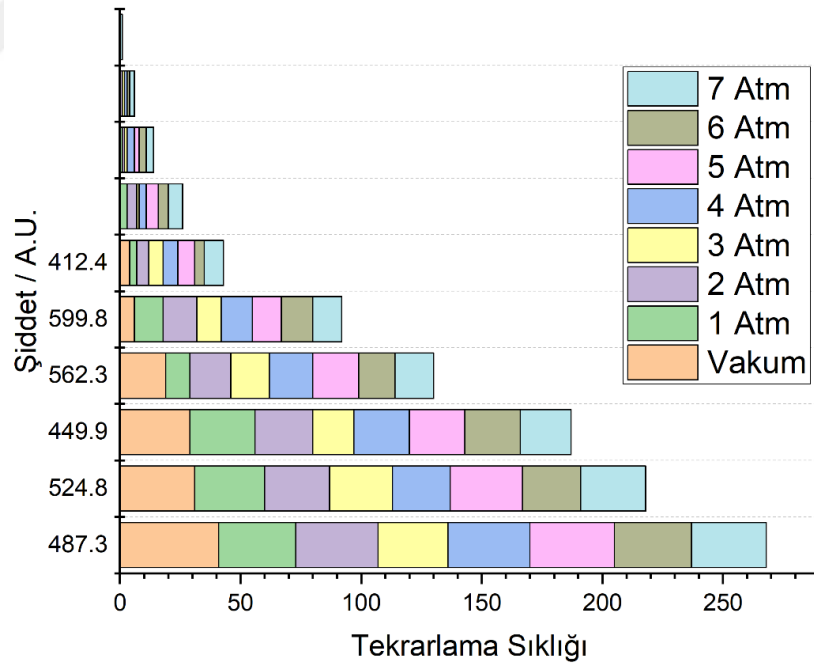
### 4.3 Saf Argon İçin Elde Edilen Sonuçlar

1 KHz Lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme voltajı ile alınan veriler Tablo 4.5'de verilmiştir. 599.8 mV şiddetindeki sinyalin tespit sıklığı artmıştır. 637.3 mV şiddetindeki sinyal vakumda veya düşük basınçlarda gözlenmemiş, basınç arttıkça oluşmuş ve rastlanma sıklığı artmıştır. 562.3 mV şiddetindeki sinyalin rastlanma sıklığının rastgele olduğu söylenilebilir. Bütün bu piklere Argon-Karbondioksit karışımında da rastlanmaktadır. 749.8 mV ve 787.3 mV gibi sinyal şiddetleri yüksek voltajlarda daha büyük yapıların oluştuğunu işaret etmektedir. Bu durum kimyanın doğasına uygun beklenen bir durumdur.

**Tablo 4. 5** Saf Argon kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış veriler (SRS: Rayleigh saçılma sinyal şiddeti, R: Tekrarlama sıklığı (rate))

0.2 Atm		1 Atm		2 Atm		3 Atm		4 Atm		5 Atm		6 Atm		7.5 Atm	
SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R	SRS	R
487.3	41	487.3	32	487.3	34	524.8	29	524.8	34	562.3	35	599.8	32	599.8	31
524.8	31	562.3	29	562.3	27	487.3	26	562.3	24	524.8	30	562.3	24	562.3	27
449.9	29	524.8	27	524.8	24	449.9	17	599.8	23	599.8	23	637.3	23	637.3	21
562.3	19	449.9	10	449.9	17	562.3	16	637.3	18	487.3	19	524.8	15	524.8	16
599.8	6	599.8	12	599.8	14	412.4	10	487.3	13	637.3	12	674.8	13	674.8	12
412.4	4	412.4	3	412.4	5	599.8	6	674.8	6	449.9	7	749.8	4	712.3	8
		637.3	3	637.3	4	674.8	1	449.9	3	674.8	5	487.3	4	487.3	6
		937.3	1	674.8	1	637.3	1	712.3	3	712.3	2	712.3	3	749.8	3
				712.3	1	787.3	1	749.8	1			787.3	1	449.9	2
														787.3	1

Saf Argon kullanılarak yapılan deney sonucunda elde edilen sinyal şiddetlerinin rastlanma sıklığı Şekil 4.8’de verilmiştir.



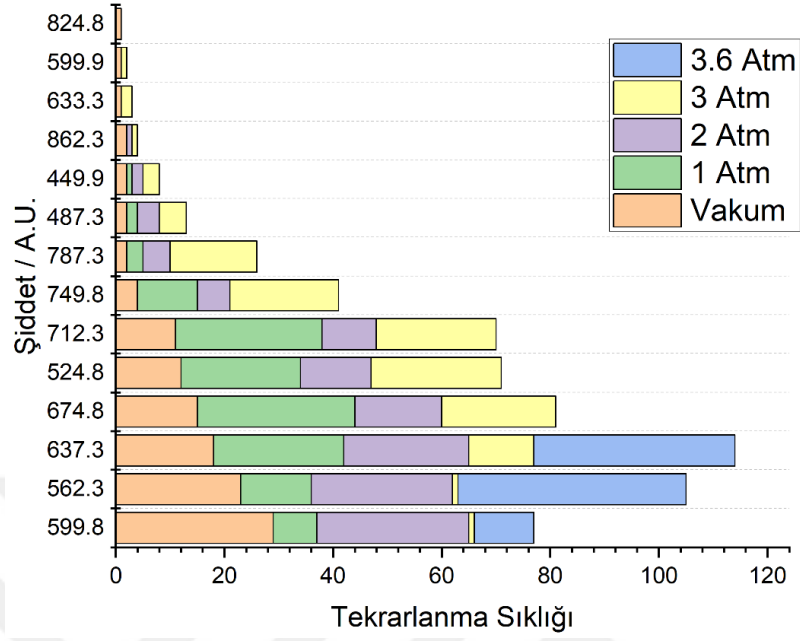
**Şekil 4. 8** Saf Argon kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış sinyal şiddetlerinin (peak to peak) tekrarlama sıklığı

#### 4.4 Saf Nitrojen (Azot) İçin Elde Edilen Sonuçlar

1 KHz Lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme voltajı ile saf Nitrojen (Azot) kullanılarak alınan veriler Tablo 4.6’de verilmiştir. Ulaşılabilen



Saf Nitrojen (Azot) kullanılarak yapılan deney sonucunda elde edilen sinyal şiddetlerinin rastlanma sıklığı Şekil 4.9’de verilmiştir.



Şekil 4.9 Saf Nitrojen (Azot) kullanılarak 1 KHz lazer darbe frekansı ve 300 Volt GEM sürüklenme frekansı ile alınmış sinyal şiddetlerinin (peak to peak) tekrarlanma sıklığı

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bir iyonik küme, N tane atom içeriyorsa ve iyonik kümenin yarıçapı için;

$$R = N^{1/3} \cdot r$$

burada r, kümeyi oluşturan atomun yarıçapıdır. Bu denkleme göre Argon iyonik kümeleri için bazı yaklaşık van der Waals yarıçapları hesaplanarak aşağıdaki tabloya kaydedilmiştir.

**Tablo 5. 1** Argon Ar<sup>+</sup>.(Ar)<sub>N</sub> iyonik kümelerinin hesaplanmış van der Waals yarıçapları

N	R (pm)	rate of increase
1	118	1.259921
2	148.6707	1.144714
3	170.1854	1.100642
4	187.3133	1.077217
5	201.7772	1.062659
6	214.4202	1.052727
7	225.7259	1.045516
8	236	1.040042
9	245.4499	1.035744
10	254.2233	1.144714
15	291.013	1.100642
20	320.3013	1.357209
50	434.7157	

Aynı şekilde Karbondioksit iyonik kümeleri için bazı yaklaşık van der Waals yarıçapları hesaplanarak aşağıdaki tabloya kaydedilmiştir.

**Tablo 5. 2** Argon  $\text{CO}_2+(\text{CO}_2)_N$  iyonik kümelerinin hesaplanmış van der Waals yarıçapları

N	R (pm)	rate of increase
1	334	1.259921
2	420.8136	1.144714
3	481.7114	1.100642
4	530.192	1.077217
5	571.132	1.062659
6	606.9183	1.052727
7	638.919	1.045516
8	668	1.040042
9	694.748	1.035744
10	719.5812	1.144714
15	823.7148	1.100642
20	906.6155	1.357209
50	1230.467	

Literatürde Rayleigh saçılması ile yapılan boyut analizi deneylerinin tamamında; saçılan ışıktan alınan PMT sinyal şiddetinin (peak to peak), lazer ışığının çarparak saçıldığı tesir kesiti yani parçacık boyutu ile doğru orantılı olarak değiştiği belirtilmiştir (Lee, 2000). Hesaplanan van der Waals yarıçapları ve Argon-Karbondioksit karışımı ile yapılan deneyden alınan Rayleigh Saçılma şiddetleri (peak to peak) dikkate alındığında elektriksel gürültü ve deney kabindeki olası kirlilik etkileri ile elde edilme olasılığı olan sinyal şiddetleri görmezden gelinerek, yapılan deneyde yüksek basınçla gelişen sinyal şiddetleri olarak 449.9 mV, 487.3 mV ve 524.8 mV değerleri göze çarpmaktadır. Sinyal değerlerinin artış oranlarına dikkat edildiğinde %8 gibi bir değer ile karşılaşılır. Bu değerler; hem hesaplanan Argon ve Karbondioksit iyonik kümeleri aralarındaki artış oranları üzerinden ekstrapole edildiğinde  $N=3-4$  aralığında değiştiği sonucuna varılmaktadır. Yani her bir iyon ile 3 veya 4 atom bağlanarak iyonik kümeler meydana gelmiştir. Dolayısıyla; deney koşullarında, dedektör hacminde  $\sim 180$  pm büyüklüğünde Argon iyonik kümeleri ve  $\sim 500$  pm büyüklüğünde Karbondioksit iyonik kümeleri oluşmuştur denilebilir.

## 5.2 Öneriler

Deneyden elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak Gazlı dedektörler için kullanılan simülasyon programları, iyonik küme etkilerini de hesaba katarak güncellenebilir. Böylece daha etkin sonuçlar ile karşılaşılır.

Deney farklı gaz karışımları ile farklı çevresel koşullarda tekrarlanarak sonuçlar incelenebilir.



## KAYNAKLAR

- Alison B. et al., 2018. “Determining the size and refractive index of single aerosol particles using angular light scattering and Mie resonances”, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 221, 61–70.
- ALICE Collaboration, 2014,. Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Time Projection Chamber, *CERN-LHCC-2013-020*.
- Andriamonje, S., Aune, S., Dafni, T., Delagnes, E., Fanourakis, G. K., Ribas, E.F., Gerialis, T., Giomataris, Y., Kousouris, K., Papaevangelou, T. 2004. “A low background Micromegas detector for axion searches,” *Nucl. Instrum. Meth., A* 535, 309-313.
- Anicich, V. G., 1993. “Evaluated Bimolecular Ion-Molecule Gas Phase Kinetics of Positive Ions for Use in Modeling Planetary Atmospheres, Cometary Comae, and Interstellar Clouds”, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 22, p1469– 1569.
- Artamonov, A. ve ark. 2008, The ATLAS Forward Calorimeter, *Journal of Instrumentation*, 3 2 P2010.
- Becker, E. W., 1956. “Strahlen aus kondensierten Atomen und Molekeln im Hochvakuum”, *Zeitschrift für Physik*, 146, p333.
- Bier, K.and Hagen, O.F. 1962, Cluster ion sources, *Z. Angew Phys* 14, 658.
- Bing-Chen L. et al., 2002. “Size Estimation and Time Evolution of Large Size Rare Gas Clusters by Rayleigh Scattering Techniques”, *Chinese Phys. Lett.*, 19, 5, 559-662.
- Bor, D. 2020.Ankara Üniversitesi Açık Ders  
[https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/59940/mod\\_resource/content/0/Konu%205%20Yar%C4%B1%20iletken%20dedekt%C3%B6rler.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/59940/mod_resource/content/0/Konu%205%20Yar%C4%B1%20iletken%20dedekt%C3%B6rler.pdf) [Erişim Tarihi:23.09.2021]
- Boris, M. S., 1992. Cluster Ions and Van der Waals Molecules, Gordon and Breach Science Publishers, chapter. 3.2, p74.
- Burghoff, H. and Gspann, J. 1967. Cluster size determination from diffractive He atom scattering, *Z. Naturforschung*, 22a, 684.
- Byun S.H et al. 2007. Dosimetric characterization of the irradiation cavity for accelerator-based in vivo neutron activation analysis, *Phys. Med. Biol.* 52 1693.
- Carter B. and Brown T.R. 2016. Handbook Of Operational Amplifier Applications. Texas Instruments Application Reports, 92-93.
- Correia, P.M.M. et al. 2014. “A dynamic method for charging-up calculations: the case of GEM”, *JINST*, 9, P07025.
- Cortez, A.F.V. et al. 2017. “Experimental Ion Mobility measurements in Xe-CO<sub>2</sub> mixtures”, *JINST*, 11, P05005.
- Daddi L. ve De Franceschi, L. 1959. *Rev. Sci. Instr.* 30, 419.
- Demir M. Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları, Dördüncü Baskı, İstanbul 2014

- Dimitrios, S., On behalf of the ATLAS Muon Collaboration 2018. Study of the performance of Micromegas detectors in magnetic field. *EPJ Web of Conferences* 174, 05003.
- EI-Nadi A. and Aly, F. M. 1959. *J. Sci. Instr.* 36, 434.
- Encarnaç o, P.M.C.C. et. al. 2015. “Experimental Ion Mobility measurements in Ar-CO<sub>2</sub> mixtures. *Journal of Instrumentation*, (10): P01010.
- Encarnaç o, P.M.C.C. et al. 2016. Experimental Ion Mobility measurements in Ne-CO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> mixtures. *JINST* 12 P06012
- Esam M. A. H. 2003. Handbook on radiation probing, gauging, imaging and analysis. *Springer*. p26.
- Fano, U., 1963. *Annu. Rev. Nucl. Sci.* 13.
- Farges, J., de Feraudy, M. F., Raoult, B. and Torchet G., 1986. Noncrystalline structure of argon clusters. II. Multilayer icosahedral structure of Ar<sub>N</sub> clusters 50<N<750. *The Journal of Chemical Physics*, 84, p3491.
- Farges, J., de Feraudy, M.F., Raoult, B. and Torchet, G. 1983. Noncrystalline structure of argon clusters. I. Polycosahedral structure of Ar<sub>N</sub> clusters, 20<N<50. *J. Chem. Phys.* 78, 5067
- Garfield Simulation Program.  
<http://garfield.web.cern.ch/garfield/> [Erişim tarihi: 23 Eyl l 2021.]
- Georges, A., 2003. The NUBASE Evaluation of Nuclear and Decay Properties. *Nuclear Physics A*. 729 (1): 3–128
- Giomataris, Y.; Rebourgeard, Ph.; Robert, J.P.; Charpak, G. 1996. MICROMEAS: a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 376 (1): 29–35.
- Glaser, D. A. 1958. The Bubble Chamber. *Encyclopedia of Physics / Handbuch Der Physik*, 314–341.
- Gspann, J. and Vollmer, H. 1979. in *Rarefied Gas Dynamics*, 11th Symposium, edited by R. Campargue ~CEA, Paris, Vol. II, p1193.
- Gspann, J. and Vollmer H. 1974. in *Rarefied Gas Dynamics*, 8th Symposium, edited by K.Karamcheti ~Academic Press, New York, p261.
- Hagena O. F. and Obert W., 1972. Cluster Formation in Expanding Supersonic Jets: Effect of Pressure, Temperature, Nozzle Size, and Test Gas, *The Journal of Chemical Physics* 56, p1793.
- Hagena, O. F., 1987. Condensation in free jets: Comparison of rare gases and metals, *Z. Phys.* D 4, 291
- Hagena, O. F. 1982. Nucleation and growth of clusters in expanding nozzle flows, *Surf. Sci.* 106, 101.
- Hagena, O. F. 1992. Cluster ion sources, *Rev. Sci. Instrum.* 63, 2374.
- Hamamatsu, 1996. PMT Handbook, Chapter 5: How to use Photomultiplier Tubes and Peripheral Circuits, p112.

- Hiraoka, K., Mori, T., 1989. Formation and stabilities of cluster ions  $Ar+n$ , *The Journal of Chemical Physics*, 90, p7143–7149.
- Hornbeck, J., 1951. The Drift Velocities of Molecular and Atomic Ions in Helium, Neon, and Argon, *Physical Review*, 84, p615–620.
- Jackson, J. D., 1975. “Classical Electrodynamics, 2nd ed.”, Wiley, New York.
- Jinno S. et al., 2013. Characterization of submicron-sized  $CO_2$  clusters formed with a supersonic expansion of a mixed-gas using a three-staged nozzle, *Applied Physics Letters*, 102, 164103.
- Jortner, J. 1992. Cluster size effects, *Zeitschrift für Physik D Atoms, Molecules and Clusters*, volume 24, p247–275.
- Kalkan, Y. and Arslanok, M., Cortez, A.F.V., Kaya, Y., Tapan İ. and Veenhof, R. 2015. Cluster ions in gas-based detectors, *Journal of Instrumentation*, 10, 07, P07004
- Kappes, M. and Leutwyler, S. 1988. In Atomic and Molecular Beam Methods, edited by G. Scoles ~Oxford, New York, Chap. 15, p. 380.
- Kiss, M. 2018. <https://www.kth.se/en/sci/centra/rymdcenter/utställning/scintillator-och-pmt-1.813646> [Erişim Tarihi: 23.09.2021]
- Knoll, G.F. 1999. Radiation Detection and Measurement - 3rd edition (Chapters 16 to 18), John Wiley & Sons.
- Krohn, D. A., MacDougall, T. W., Mendez A., 2014. Fiber optic sensors: fundamentals and applications, *SPIE Press*, p89-91.
- Kruger, G. 1959. Nukleonik 1, 237.
- Lecoq, P. 2020. Scintillation Detectors for Charged Particles and Photons, 45-89.
- Lei A. L., 2000. Size Determination of Argon Clusters from a Rayleigh Scattering Experiment, *Chin.Phy S. Lett.i*, Vol. 17, No. 9, 66.
- Liu, W. F., Conway, D. C., 1975. Ion-molecule reactions in Ar at 296, 195, and 77 K., *The Journal of Chemical Physics*, 62, p3070–3073.
- Lockwood, D. J., 2016, “Rayleigh and Mie Scattering”, *Encyclopedia of Color Science and Technology*, Springer Science+Business Media New York.
- Magboltz Simulation Program.  
<http://magboltz.web.cern.ch/magboltz/> [Erişim tarihi: 23 Eylül 2021].
- Martin, P. M., 2010. Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings: *Science, Applications and Technology*, William Andrew (Elsevier), chapter 2, p43.
- Neamen, D. A. 2003. Semiconductor Physics and Devices: *Basic Principles* (3rd ed.).
- Ouseph, P.J. 1975. Semiconductor Detectors. Introduction to Nuclear Radiation Detectors, pp.129–167.
- Ratcliff B., Schwiening J. 2012. Cherenkov Counters. In: Grupen C., Buvat I. (eds) *Handbook of Particle Detection and Imaging*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Roberts, A. 1961. Development of the Spark Chamber: A Review, *Review of Scientific Instruments*, 32(5), 482–485.

- Rossi, B. 1952. High Energy Particles, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, NY.
- Sauli, F., 1997. GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors, *Nucl. Instr. Meth A*, 386 (1997) 531.
- Sauli, F. 2003. Development and applications of gas electron multiplier detectors, *Nucl. Instr. Meth A*, 505 (2003) 195.
- Sauli, F. 2004. Progress with the gas electron multiplier, *Nucl. Instr. Meth A*, 522 (2004) 93.
- Schultz, G., Charpak, G., Sauli, F., 1977. Mobilities of positive ions in some gas mixtures used in proportional and drift chambers, *Revue de Physique Appliquee* (Paris), 12, 67-70.
- Shao-Hui L. et al., 2003. Investigation of the time characteristics of a pulsed flow of large rare gas clusters, *Chinese Physics*, 8, 12, 852-860.
- Smirnov, B. M., 2010. "Cluster Processes in Gases and Plasmas", John Wiley & Sons. Copyright. ISBN 978-3-527-40943-3.
- Sparkman, O.D. 2000. Mass spectrometry desk reference. Pittsburgh: Global View Pub.
- Stover, J.C., 2012. Optical Scattering: Measurement and Analysis, Third Edition, SPIE PRESS BOOK, Volume: PM224, ISBN: 9781628418408, p60.
- Waker, A.J. 1995. Principals of Experimental Microdosimetry, *Radiat. Prot. Dosim.* 61 297.
- Winiwarter, S., Zamora, I. 2007. Comprehensive Medicinal Chemistry II.
- Veenhof, R., 2017. "Ion tails in the Atlas TRT tubes", *RD51 collaboration meeting*, 25-28.
- <https://indico.cern.ch/event/667256/timetable/> [Erişim tarihi: 23 Eylül 2021]
- Velure, A., 2015. Upgrades of the ALICE TPC Front-End Electronics for Long Shutdown 1 and 2, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 62.
- Yao L. et. al., 2007. Plasma behaviour with hydrogen supersonic molecular beam and cluster jet injection in the HL-2A tokamak, *Nuclear Fusion*, Volume 47, Number 11.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ayşe Nur MUTLU

### EĞİTİM

<b>Derece</b>	<b>Adı, İlçe, İl</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise	: Muş Lisesi	2010
Üniversite	: Fırat Üniversitesi	2017
Yüksek Lisans	: Muş Alparslan Üniversitesi	2021

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

Mutlu, Ayşe N., Kalkan, Y., "A new idea: Functional Polymer Detectors", The 6th International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors, MPGD19, France, 2019.

Kalkan, Y., Mutlu, Ayşe N., "First Results Of Rayleigh Scattering Method To Define Size Of Cluster Ions In A Gas Detector", The 6th International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors, MPGD19, France, 2019.

Mutlu, Ayşe N., " A New Way To Define Cluster Ions In MPGDs ", 8. ADIM Fizik Günleri Kongresi, Bilecik, 2019.