



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

**NEON BAZLI GAZ KARIŞIMLARININ  
KULLANILDIĞI GAZLI ATOM-ALTI  
PARÇACIK DEDEKTÖRLERİNDE OLUŞAN  
İYONİK KÜME BOYUTLARININ  
BELİRLENMESİ**

**Sedat ARI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Dedektör ve Sensör Teknolojileri Anabilim Dalı**

**Mayıs-2023**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**



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

**NEON BAZLI GAZ KARIŞIMLARININ  
KULLANILDIĞI GAZLI ATOM-ALTI  
PARÇACIK DEDEKTÖRLERİNDE OLUŞAN  
İYONİK KÜME BOYUTLARININ  
BELİRLENMESİ**

**Sedat ARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Dedektör ve Sensör Teknolojileri Anabilim Dalı**

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

**Mayıs-2023**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL ve ONAYI

Sedat ARI tarafından hazırlanan “Neon Bazlı Gaz Karışımlarının Kullanıldığı Gazlı Atom-Altı Parçacık Dedektörlerinde Oluşan İyonik Küme Boyutlarının Belirlenmesi” adlı tez çalışması 31/03/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dedektör ve Sensör Teknolojileri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Arif KÖSEMEN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa/Nanoteknoloji Ve Biyoteknoloji Enstitüsü /  
Nanoteknoloji ABD

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yalçın KALKAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi/Mehmet Tanrıkulu Sağlık Hizmetleri Meslek  
Yüksekokulu/Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü/Nükleer Tıp Teknikleri Pr.

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet SAZAK

Muş Alparslan Üniversitesi/Varto Meslek Yüksekokulu/Tıbbi Hizmetler Ve Teknikler  
Bölümü/Optisyenlik Pr

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu ...../...../..... Tarih ve ...../..... nolu kararı  
ile onaylanmıştır.

.....  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 120F026 nolu proje ile desteklenmiştir.

## **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

Sedat ARI

Tarih:31/03/2023

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# NEON BAZLI GAZ KARIŞIMLARININ KULLANILDIĞI GAZLI ATOM-ALTI PARÇACIK DEDEKTÖRLERİNDE OLUŞAN İYONİK KÜME BOYUTLARININ BELİRLENMESİ

Sedat ARI

**Muş Alparslan Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Dedektör ve Sensör Teknolojileri Anabilim Dalı**

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

Gaz dedektörleri, sağlıklı çalışmalarına müdahale eden iyonların neden olduğu olumsuz etkilere eğilimlidir. Bu etkiler, dedektörün sinyalini etkileyebilen elektrik alan konfigürasyonundaki bozulmaları ve elektromanyetik indüksiyonu içerir. Bu sorunu çözmek için girişimlerde bulunulmasına rağmen, bugüne kadar başarılı bir çözüm bulunamadı. Bu nedenle, dedektördeki iyonların davranışını anlamak, bu sorunu çözmek için kritik öneme sahiptir.

Literatürde iyonların sinyal üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığına dair güçlü bir görüş olsa da son bilimsel yayınlar bu iyonların sinyali önemli ölçüde etkilediğini ileri sürmektedir. Dedektör hacminde birincil elektronlar oluştuğunda, iyonlar oluşturulur ve katoda ulaşana kadar iyonik kümeler dönüşürler(Kalkan, 2015). Ancak bu kümelerin tam boyutu bilinmiyor ve teorik hesaplamaların deneysel olarak kanıtlanması gerekiyor.

İyonik kümelerin boyutunu tahmin etmek için ışık atomları veya fotonlarla saçılma deneyleri kullanılmıştır. Bu çalışmalar dedektör fizikçilerinin ilgisini çekmiş olsa da iyonların davranışını tam olarak açıklamakta yetersiz kalmaktadır.

Bu sorunu çözmek için, iyonların oluştuğu ve dedektördeki elektrik alanı tarafından sürüklendiği bölgeye bir lazer ışını gönderildi. Rayleigh saçılması kullanılarak saçılan ışını analiz ederek, iyonik kümelerin varlığı ve boyutu için deneysel kanıtlar sağlanmıştır. Rayleigh saçılması kullanılarak hacim tayini uzun süredir kullanılmakla birlikte bu tezde kullanılan yöntem literatürden önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Örneğin oluşan iyonik kümeler vakumla değil elektrik alan etkisiyle hareket eder ve bunları ince bir nozula kanalize etmek mümkün değildir. Amaç, kullanılan basınç, sıcaklık, nem ve gaz karışımı gibi gaz dedektörlerinin çalışma parametreleri altında oluşan iyonik kümelerin boyutları hakkında ilk deneysel sonuçların elde edilmesi ve literatürle paylaşılmasıdır.

**2023, 46 Sayfa**

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

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **DETERMINATION OF IONIC CLUSTER SIZES IN GAS DETECTORS USING NEON-BASED GAS MIXTURES**

**Sedat ARI**

**Muş Alparslan University  
Natural and Applied Science  
Department of Detector and Sensor Technologies**

**Advisor: Dr. Yalçın KALKAN**

Gas detectors are prone to negative effects caused by ions that interfere with their healthy operation. These effects include disruptions in the electric field configuration and electromagnetic induction, which can affect the detector's signal. Although attempts have been made to address this issue, no successful solution has been found to date. Therefore, understanding the behavior of ions in the detector is critical for solving this problem.

Although there is a strong opinion in the literature that ions have no effect on the signal, recent scientific publications suggest that these ions significantly affect the signal. When primary electrons are formed in the detector volume, ions are created and turn into ionic clusters until they reach the cathode(Kalkan, 2015). However, the exact size of these clusters is unknown, and theoretical calculations need to be experimentally proven.

Scattering experiments with light atoms or photons have been used to estimate the size of ionic clusters. While these studies have attracted the attention of detector physicists, they are insufficient to fully explain the behavior of ions.

To address this issue, a laser beam was sent to the region where ions were formed and entrained by the electric field in the detector. By analyzing the scattered beam using Rayleigh scattering, experimental evidence for the existence and size of ionic clusters has been provided. While volume determination using Rayleigh scattering has been used for a long time, the method used in this thesis differs significantly from the literature. For example, the ionic clusters formed do not move by vacuum but by electric field effect, and it is not possible to channel them into a thin nozzle. The aim is to obtain the first experimental results about the dimensions of the ionic clusters formed under the operating parameters of gas detectors, such as pressure, temperature, humidity, and gas mixture used, and to share them with the literature.

**2023, 46 Pages**

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

## TEŞEKKÜR

“Neon Bazlı Gaz Karışımlarının Kullanıldığı Gazlı Atom-Altı Parçacık Dedektörlerinde Oluşan İyonik Küme Boyutlarının Belirlenmesi” isimli araştırma tezim boyunca paha biçilemez uzmanlığı ve desteği için değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yalçın Kalkan’a ve akademik yolculuğum boyunca verdikleri sarsılmaz destek ve cesaret için aileme teşekkür etmek istiyorum.

Tez çalışmam kapsamında kullandığım cihaz, teçhizat, sarf malzemesi vs. gibi ihtiyaçlar, tez danışmanım Dr. Yalçın KALKAN tarafından yürütölen 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.

TÜBİTAK'ın hem bilimsel araőtırmalarımam hem de kariyer gelişimime sağladığı eşsiz destek ve katkılardan dolayı minnettarım. Değerli destekleri için TÜBİTAK'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Sedat ARI  
MUŞ-2023

## İÇİNDEKİLER

|  |           |
|--|-----------|
| ÖZET .....   | iv        |
| ABSTRACT.....  | v         |
| TEŞEKKÜR .....   | vi        |
| İÇİNDEKİLER .....  | vii       |
| SİMGELER ve KISALTMALAR.....   | ix        |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....   | x         |
| TABLolar DİZİNİ.....   | xii       |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1 Temel Foton Etkileşmeleri.....   | 3         |
| 2.1.1 Fotoelektrik Etki .....  | 3         |
| 2.1.2 Compton Etkileşmesi .....  | 4         |
| 2.1.3 Işığın Bir Parçacık Üzerinden Saçılması.....   | 5         |
| 2.2 Foton Tesir Kesiti.....  | 10        |
| 2.2.1 Diferansiyel Kesir Testi .....   | 12        |
| 2.2.2 Brown Hareketi .....   | 14        |
| 2.2.3 Foton-Atom Etkileşmeleri.....  | 15        |
| 2.3 Gazlı Parçacık Dedektörleri .....  | 16        |
| 2.4 <sup>55</sup> Fe Spektrumu .....   | 18        |
| 2.5 Ne-Karbondioksit ve Ar-Karbondioksit Gaz Karışımı için Dedektör İçerisinde Oluşabilecek Yapılar..... | 19        |
| <b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>   | <b>21</b> |
| 3.1 Akaike ölçütü (AIC-Akaike Information Criterion) ile Histogramdan Pik Tahmini.....                   | 21        |
| 3.2 MATLAB Paket Programı .....  | 22        |
| 3.3 Rayleigh Saçılması Tekniği ile Boyut Analizi.....  | 24        |
| <b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA .....</b>  | <b>26</b> |
| 4.1 Saf Neon İçin Elde Edilen Sonuçlar.....  | 26        |
| 4.2 %25 Neon - %75 Karbondioksit İçin Elde Edilen Sonuçlar .....   | 27        |
| 4.3 %50 Neon - %50 Karbondioksit İçin Elde Edilen Sonuçlar .....   | 31        |
| 4.4 %75 Neon - %25 Karbondioksit İçin Elde Edilen Sonuçlar .....   | 34        |
| 4.5 Saf Karbondioksit İçin Elde Edilen Sonuçlar .....  | 37        |
| <b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>  | <b>40</b> |
| 5.1 Sonuçlar .....   | 40        |
| 5.2 Öneriler .....   | 41        |

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>KAYNAKLAR .....</b> | <b>42</b> |
| <b>EKLER .....</b>     | <b>45</b> |



## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

|                  |  |
|------------------|--|
| Ar               | : Argon  |
| Ar <sup>+</sup>  | : Uyarılmış durumdaki argon atomu                |
| CO <sub>2</sub>  | : Karbondioksit                                  |
| <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               | : Neon   |
| Ne <sup>+</sup>  | : Uyarılmış durumdaki neon atomu                 |
| 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 Fotoelektrik etki ile metalik yüzeye düşen ışığın ortamdaki elektron koparması (Tiwari, 2022).....   | 4  |
| Şekil 2. 2 Compton saçılması temsili (Margin, 2014).....  | 4  |
| Şekil 2. 3 (a) Rayleigh küçük parçacık saçılımı ve (b) Rayleigh büyük parçacık saçılımı için radyasyon dağılımı. ....   | 6  |
| Şekil 2. 4 Bir DLS deneyi için temel kurulum. Dedektörün doymasını önlemek için lazerden gelen ışık, numune hücreye girmeden önce zayıflatılır.....   | 7  |
| Şekil 2. 5 (Üst) büyük parçacıklar ve (alt) küçük parçacıklar için saçılan ışığın zamana bağlı yoğunluğu.....   | 8  |
| Şekil 2. 6 (a) büyük ve (b) küçük parçacıklar için korelogramlar.....   | 9  |
| Şekil 2. 7 Partiküllerin boyutunu ve moleküler ağırlığını belirlemek için kullanılan Zimm grafiği. Veriler, kahverengi ile gösterilen konsantrasyonlar ve açılar kullanılarak toplanır. Verilerin sıfır konsantrasyonuna (kesikli yeşil çizgiler) ve saçılma açısının sıfıra (kesikli mavi çizgiler) ekstrapolasyonu, düz mavi ve düz yeşil çizgileri verir, bu da sırasıyla moleküler ağırlık, M ve parçacık boyutu, Rg için değerler verir..... | 10 |
| Şekil 2. 8 Tesir kesiti kavramı geometrik yorumu temsili(Aydın, 2015).....  | 11 |
| Şekil 2. 9 Saçılma tesir kesiti tanımı .....  | 11 |
| Şekil 2. 10 Fotoelektrik etki, Compton saçılması ve Çift oluşumu için tesir kesiti(Aydın, 2015).....  | 12 |
| Şekil 2. 11 Diferansiyel tesir kesitinin şematik diyagramı.....   | 13 |
| Şekil 2. 12 Brown hareketi temsili .....  | 15 |
| Şekil 2.13 SDD kullanılarak alınan 55Fe X-ışını kaynağının Spektrumunda karakteristik pikler (Qutaishat, 2011).....   | 19 |
| Şekil 4.1 Saf Neon için 1 ATM'de AIC tekniği ile histogram ve Gauss grafiği.....  | 27 |
| Şekil 4.2 % 25 Neon - %75 Karbondioksit karışımı için 1 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği.....   | 28 |
| Şekil 4.3 % 25 Neon - %75 Karbondioksit karışımı için 2 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği.....   | 28 |
| Şekil 4.4 %25 Neon - %75 Karbondioksit karışımı için 3 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği.....  | 29 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Şekil 4.5</b> %25 Neon - %75 Karbondioksit karışımı için 4 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği.....  | 30 |
| <b>Şekil 4.6</b> %25 Neon - %75 Karbondioksit karışımı için 5 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği.....  | 30 |
| <b>Şekil 4.7</b> %50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için 1 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği.....  | 31 |
| <b>Şekil 4.8</b> %50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için 2 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği.....  | 32 |
| <b>Şekil 4.9</b> %50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için 3 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği.....  | 32 |
| <b>Şekil 4.10</b> %50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için 4 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği..... | 33 |
| <b>Şekil 4.11</b> %50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için 5 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği..... | 34 |
| <b>Şekil 4.12</b> %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için 1 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği..... | 35 |
| <b>Şekil 4.13</b> %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için 2 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği..... | 35 |
| <b>Şekil 4.14</b> %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için 3 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği..... | 36 |
| <b>Şekil 4.15</b> %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için 4 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği..... | 36 |
| <b>Şekil 4.16</b> %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için 5 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği..... | 37 |
| <b>Şekil 4.17</b> Saf Karbondioksit karışımı için 1 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği.....            | 38 |
| <b>Şekil 4.18</b> Saf Karbondioksit karışımı için 5 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği.....            | 39 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

**Tablo 2.1** Gazlı dedektörlerde kullanılan gazlar ve ilgili parametreler.....16

**Tablo 5.1** Atom/Molekül/İyon/İyonik Küme yapıları ve PMT sinyal şiddetleri.....41



## 1. GİRİŞ

Gaz halindeki bir parçacık detektörü, dedektör hacmindeki elektronların ve iyonların davranışının ortaya çıkan sinyali belirlemede çok önemli bir rol oynadığı iyonizasyon ilkesine göre çalışır. Tüm atom altı parçacık detektörleri aynı prensibe dayanmasına rağmen, sinyal üretimi, elektronların ve iyonların etkileşimi ile ilgili bir olaylar zincirini içeren karmaşık bir süreçtir. Bu nedenle, bir gaz parçacık detektörünün işleyişi, bu parçacıkların detektör hacmindeki etkileşimine karmaşık bir şekilde bağlıdır.

Atom altı parçacık detektörleri ile ilgili literatürde, elektronların sinyal üretim mekanizmaları ve gaz kazancı üzerindeki etkisi sıklıkla tartışılmaktadır. Ancak birçok bilimsel yayın, iyonların sinyal üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını ve göz ardı edilebileceğini iddia etmektedir. Buna rağmen, dedektör hacmi içinde iyonların katıldığı fiziksel süreçler, sinyal üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, radyasyon dedektörleri için "iyon sorunu" bilimsel konferanslarda, özellikle CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) içinde sıklıkla tartışılan önemli bir konu haline geldi. İyon sorunu, ALICE TPC (Zaman Projeksiyon Odası) gibi büyük hacimli gaz dedektörleri geliştiren bilim adamları için önemli bir sorun olmaya devam ediyor. Son araştırmalar, gaz dedektörünün çalışması sırasında oluşan iyonların sadece birkaç nanosaniyede hızla iyonik kümeler halinde kümelendiğini göstermiştir (Kalkan, 2015). Bu bulgu, iyonların dedektör sinyali üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu iddiasını güçlendirdi ve bu tezi desteklemek için deneysel kanıtlar gerekiyordu.

Her bir iyonla kümelenen atomların veya moleküllerin sayısı, gazlı radyasyon detektörlerinin çalışmasında iyonik kümelerin neden olduğu sorunun boyutu ve boyutları hakkında fikir verebilir. Bu bilgiler, devam eden bilimsel araştırmalara bu soruna çözüm bulmaya yönelik rehberlik edebilir. Ancak dedektör teknolojilerini geliştirmek için kullanılan simülasyon çalışmalarında iyon etkisi çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Bunun başlıca nedeni, ürettikleri elektrik alanın boyutunun bilinmemesidir, bu da fiziksel süreçleri hesaplarken etkilerini açıklamayı zorlaştırır.

Bu tezin sonuçları, iyon etkisini mevcut simülasyon programlarına dahil etmenin bir yolunu sağlayarak bu engeli ele alacaktır. Bu, araştırmacıların iyonların sinyal üzerindeki etkisini dikkate almalarını ve simülasyonlarının doğruluğunu geliştirmelerini sağlayacaktır. Sonuç olarak, bu araştırma daha iyi radyasyon detektörlerinin

geliştirilmesine katkıda bulunacak ve bunların işleyişine ilişkin anlayışımızı geliştirecektir.

Bu tez çalışması, gaz dedektörlerinde oluşan iyonik kümelerin boyutunu belirlemek için yeni bir deneysel sistem ve metodoloji sunmaktadır. Deneysel yaklaşım ve sonuçlar daha önce literatürde bildirilmemiştir. Çalışma, dedektörün içine bir dedektör yerleştirilmesini içeriyordu ve bulgular çeşitli uluslararası bilimsel yayınlarda yayınlandı ve geniş çapta tartışıldı. Bu araştırma CERN RD51 işbirliği ile yürütülmüştür ve Muş Alparslan Üniversitesi bu kuruluşun araştırma üyesidir.

Rayleigh Saçılma yöntemi, bu çalışma için en uygun ve yaygın olarak kullanılan moleküler boyut analiz yöntemi olarak seçilmiştir. Bu konuyla ilgili önceki deneysel çalışmalar hakkında kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır ve "Kaynak Araştırması" bölümünün 2. bölümünde sunulmuştur.

Bölüm 3'te, gaz dedektörlerinde Rayleigh Saçılma yöntemiyle oluşturulan iyonik kümelerin boyutsal analizi için kullanılan deney düzeneği, ilgili spesifikasyonlar da dahil olmak üzere ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar, 4. bölüm olan "Araştırma Sonuçları ve Tartışma" bölümünde önceki literatür bulgularıyla karşılaştırılır ve değerlendirilir. Sonuçların değerlendirilmesine dayalı olarak, gaz dedektörlerindeki iyonik küme sorununa olası çözümler için tahminler, "Sonuçlar ve Öneriler" başlıklı 5. bölümde tartışılmaktadır.

Özet olarak, bu tez, Rayleigh Saçılma yönteminin moleküler boyut analizi için kullanımını ve gaz dedektörlerinde oluşan iyonik kümeler bağlamında uygulanmasını araştırmaktadır. Çalışma, deneysel sonuçları ve bulguların mevcut literatürle karşılaştırmalı analizini sunar ve ardından belirlenen soruna olası çözümler için öneriler sunar.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında kullanılan temel bilgiler hakkında araştırmalar; Temel Foton Etkileşimleri, Gazlı Parçacık Dedektörleri, İyonik kümeler, İyonik kümelerin gazlı dedektörlerde oluşturduğu problemler, Moleküler boyut analizinde kullanılan yöntemler ve Rayleigh Saçılması yöntemi konularını ele almaktadır.

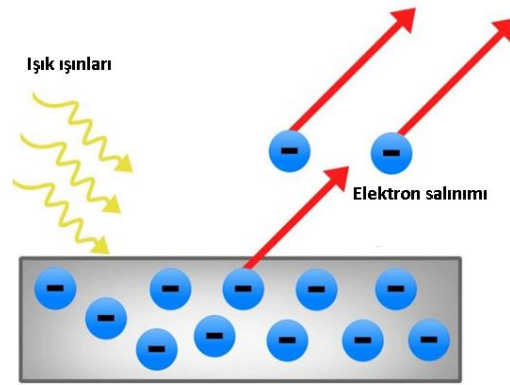
### 2.1 Temel Foton Etkileşimleri

Temel foton etkileşimleri, elektromanyetik alanlarla oluşan fotonların maddeyle etkileşimini inceleyen bir alandır. Fotonlar, sıfır kütle ve yüke sahip olan elektromanyetik parçacıklardır. Fotonların maddeyle etkileşimi, çeşitli mekanizmalara dayanır ve bu mekanizmalar atomaltı düzeyde çalışır. Örneğin, fotoelektrik etki ve Compton saçılması, fotonların maddeyle etkileşmesinin iki temel mekanizmasıdır. Temel foton etkileşimleri, modern fiziğin birçok dalında, özellikle nükleer fizik, yüksek enerji fiziği ve malzeme bilimi gibi alanlarda büyük öneme sahiptir.

#### 2.1.1 Fotoelektrik Etki

Fotoelektrik etki, bir metal üzerine yönlendirilmiş foton demetinin metal atomları ile etkileşerek yüzeyden elektronların koparılması ile sonuçlanan fiziksel bir olaydır. Böyle bir etkileşim sonucu elektron üretimi sağlanmaktadır. Üretilen elektronlara fotoelektron denir. Fotoelektrik olay, kuantum fiziği çalışmalarında giriş konusu olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Klassen, 2011). Bu olay, enerjinin fotonlardan elektronlara akışı ile sağlanır. Fotoelektron salınımı, kolay bir şekilde metal ve başka iletken yapılarında gözlemlenmesine ek olarak herhangi bir malzeme üzerine düşen ışık ışınları sayesinde gözlemlenmesi mümkündür. Metalik yüzeyde kolay bir şekilde gözlemlenmesinin nedeni ise metal yüzeyine gelen ışığın metalik yüzeyinden elektronları koparması ile bir yük dengesizliği oluşturmasıdır. Şekil 2.1' de fotoelektrik etki ile metalik yüzeye düşen ışıktan elektron fırlaması gösterilmiştir. Kuantum kimyasında ve elektrokimyada çoğunlukla rastlanan bu durum fizik biliminde elektron üretimine dayalı uygulamalar kapsamında çeşitli araştırma imkanları sunar. Fotoemiyon veya foto iyonizasyon olarak da bilinmektedir (Tiwari, 2022).

Fotoelektrik etki ile ilgili çalışmalar, Hubbell tarafından Ulusal Standart Referans Veri Serisinde (NSRDS-NBS) gözlemlenmektedir (Hirayama, 2000).

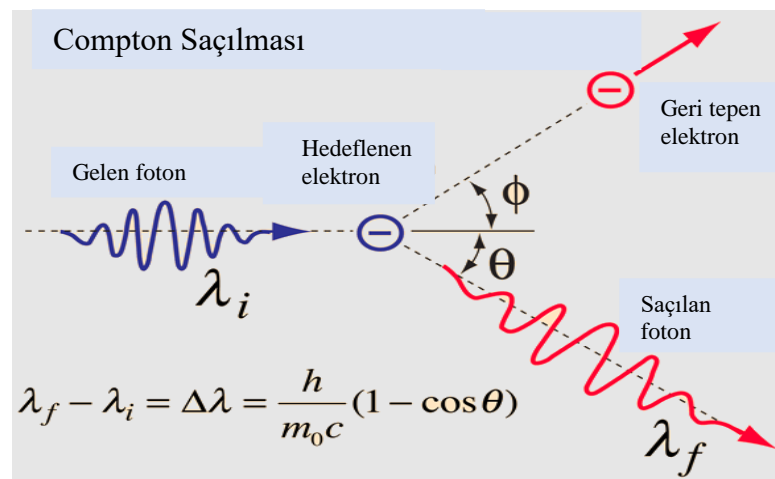


Şekil 2. 1 Fotoelektrik etki ile metalik yüzeye düşen ışığın ortamdan elektron koparması (Tiwari, 2022)

### 2.1.2 Compton Etkileşmesi

A.H. Compton, 1923'te Louis'deki Washington Üniversitesi'nde Compton saçılmasını ilk olarak gözlemledi. Compton, fotonların parçacık doğası ile ilişkili bu yeni davranışını gösterdiği için 1927'de Nobel Fizik Ödülü'nü kazandı (Margin, 2014).

Compton saçılması, bir fotonun (X-ışını veya gama-ışını fotonu olabilir.) yüklü bir parçacık, genellikle bir elektron üzerinden esnek olmayan saçılmasıdır. Compton saçılmasında, gelen gama ışını fotonu orijinal yönüne göre  $\Theta$  açısıyla saptırılır. Bu olay şekil 2.2'de temsili olarak gösterilmiştir. Bu sapma, fotonun frekansının enerjisini azaltır (foton frekansındaki azalma) ve bu olay Compton etkisi olarak adlandırılmaktadır. Foton, enerjisinin bir kısmını geri tepme elektronuna aktarır. Geri tepme elektronuna aktarılan enerji, saçılma açısına bağlı olarak; sıfırdan gama ışını enerjisinin büyük bir kısmına kadar değişkenlik gösterebilir (Margin, 2014).



Şekil 2. 2 Compton saçılması temsili (Margin, 2014)

### 2.1.3 Işığın Bir Parçacık Üzerinden Saçılması

Gün boyunca gökyüzünün mavi tonu ve gün batımında güneşin kırmızımsı-turuncu rengi, ışığın Dünya atmosferindeki küçük toz parçacıkları, su molekülleri ve diğer gazlar tarafından saçılmasının bir sonucudur. Bir fotonun saçılma derecesi dalga boyuna bağlıdır. Gün boyunca gökyüzünü mavi olarak görürüz çünkü daha kısa mor ve mavi dalga boyları, daha uzun dalga boylarına göre daha verimli bir şekilde saçılır. Benzer şekilde, günbatımında güneş kırmızı görünür çünkü daha uzun kırmızı dalga boyları daha az verimli bir şekilde dağılır ve atmosferden geçip gözlerimize ulaşmalarına izin verir.

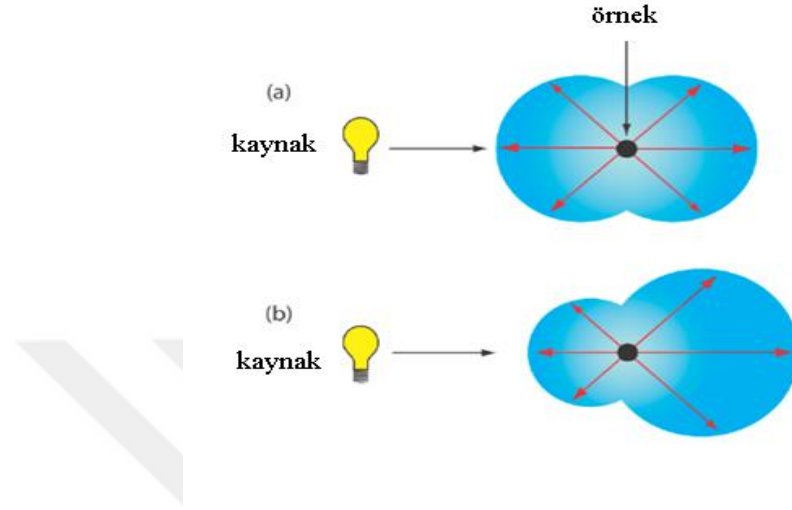
Saçılma olgusu 1800'lerin sonlarından beri incelenmektedir ve kısa süre sonra uygulamaları başlamıştır. 1900'lerin başlarında, kolloidal parçacıkların konsantrasyonunu belirlemek için kolloidal süspansiyonlar tarafından ışığın elastik saçılması nicel olarak kullanıldı. Bu, şu anda tıbbi görüntüleme, atmosfer bilimi ve malzeme karakterizasyonu dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılan saçılma tekniklerinin daha fazla araştırılması ve geliştirilmesinin yolunu açtı.

#### 2.1.3.1 Saçılmanın Kökeni

Bir dalga boyuna sahip odaklanmış, monokromatik bir radyasyon ışını gönderirsek  $\lambda$  boyutları olan bir parçacık ortamı aracılığıyla  $< 1.5 \lambda$ , radyasyon her yöne saçılır. Örnek verecek olursak 500 nm dalga boyuna sahip görünür radyasyon, en uzun boyutunda 750 nm kadar büyük parçacıklarla etkileşime girdiğinde saçılır. Yayıgın olarak iki ana saçılma türü ayırt edilir: elastik saçılma ve elastik olmayan saçılma. Elastik saçılma, radyasyonun parçacıklar tarafından emildiği ve daha sonra radyasyonun enerjisinde herhangi bir değişiklik olmaksızın yeniden yayıldığı bir süreci ifade eder. Buna karşılık, elastik olmayan saçılma, saçılan radyasyonun enerjisinde bir değişiklik içerir. Bu bölümün amaçları doğrultusunda, yalnızca elastik saçılmaya odaklanacağız.

Elastik saçılma iki türe ayrılır: Rayleigh küçük parçacık saçılımı veya rayleigh büyük parçacık saçılımı. Rayleigh saçılması, saçılan parçacığın en büyük boyutu radyasyonun dalga boyunun %5'inden az olduğunda meydana gelir. Saçılan radyasyonun yoğunluğu, frekansı ile dördüncü güce orantılıdır,  $v^4$  mavi ışığın kırmızı ışıktan daha fazla saçılımını açıklar ve simetrik olarak dağıtılır (Şekil 2.3 a). Daha

büyük parçacıklar saçılmaya dahil olduklarında, ileri yönde daha yüksek derecede saçılma ve ters yönde daha az saçılma seviyesi sergileme eğilimindedirler. Bu fenomen, yapıcı ve yıkıcı girişim etkileri nedeniyle oluşur. (Şekil 2.3 b).



Şekil 2. 3 (a) Rayleigh küçük parçacık saçılımı ve (b) Rayleigh büyük parçacık saçılımı için radyasyon dağılımı.

### 2.1.3.2 Rayleigh Saçılması

Rayleigh saçılması, bir ışık kaynağından yayılan fotonların, madde içindeki serbest elektronlarla etkileşerek yönlerinin değişmesi sonucu oluşan bir fenomendir. Bu etki, özellikle güneş ışığının atmosferde saçılması sonucu gökyüzünün mavi görünmesine neden olur.

Rayleigh saçılması, fotonların dalga boyuna bağlı olarak farklı yönlere saçılması nedeniyle dalga boyu ile ilgili bilgileri belirlemek için kullanılır. Örneğin, bir ışığın saçılma açısı, fotonun dalga boyunun karesi ile ters orantılıdır. Bu nedenle, Rayleigh saçılması, dalga boyu ile ilgili bilgilerin belirlenmesi için önemli bir araçtır.

Rayleigh saçılması, sadece atmosferdeki hava molekülleriyle sınırlı değildir. Suyun içindeki parçacıklar da ışığı saçabilir ve bu da suyun kalitesinin analizinde kullanılabilir. Ayrıca, malzeme karakterizasyonunda da kullanılabilir, çünkü malzemelerin kimyasal bileşimleri ve yapıları, ışığın saçılma özelliklerini etkileyebilir.

Rayleigh saçılması ayrıca, hava kalitesinin ölçümü ve atmosferik koşulların izlenmesinde de önemlidir. Örneğin, hava kalitesi ölçüm cihazları, havadaki kirleticilerin miktarını belirlemek için kullanılır ve bu kirleticiler de ışığın saçılma

özelliklerini etkileyebilir. Atmosferik koşulların izlenmesi, özellikle havacılık ve uzay endüstrilerinde önemlidir ve Rayleigh saçılması, atmosferik koşulların belirlenmesinde kullanılabilir.

Sonuç olarak, Rayleigh saçılması, birçok uygulama alanında önemli bir rol oynar ve ışığın saçılma özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

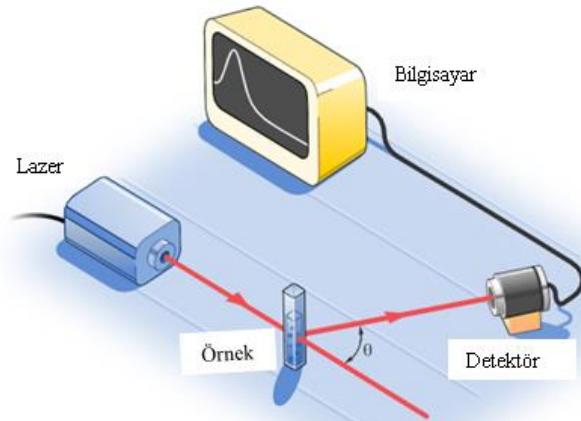
$\theta$  açısıyla ölçülen küçük parçacık veya Rayleigh saçılması, saçılan ışığın yoğunluğunun,  $I$ , ışık kaynağının yoğunluğuna,  $I_0$  oranıdır ve şu şekilde ifade edilir:

$$R_{\theta} = \frac{I}{I_0} = Kr^6$$

Burada  $r_0$  parçacığın yarıçapı ve  $K$  saçılma açısının, kullanılan ışığın dalga boyunun, parçacığın kırılma indisinin ve  $R$  parçacığa olan uzaklığın bir fonksiyonu olan bir sabittir.

### 2.1.3.3 Dinamik Işık Saçılımı

Dinamik ışık saçılımı (DLS), Şekil 2.4'te gösterildiği gibi birincil ışık kaynağı olarak bir lazer kullanır. Lazer ışını, Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, araştırılmakta olan malzemeyi içeren bir numune hücreğine yönlendirilir ve daha sonra ışığı çeşitli yönlere dağıtır.

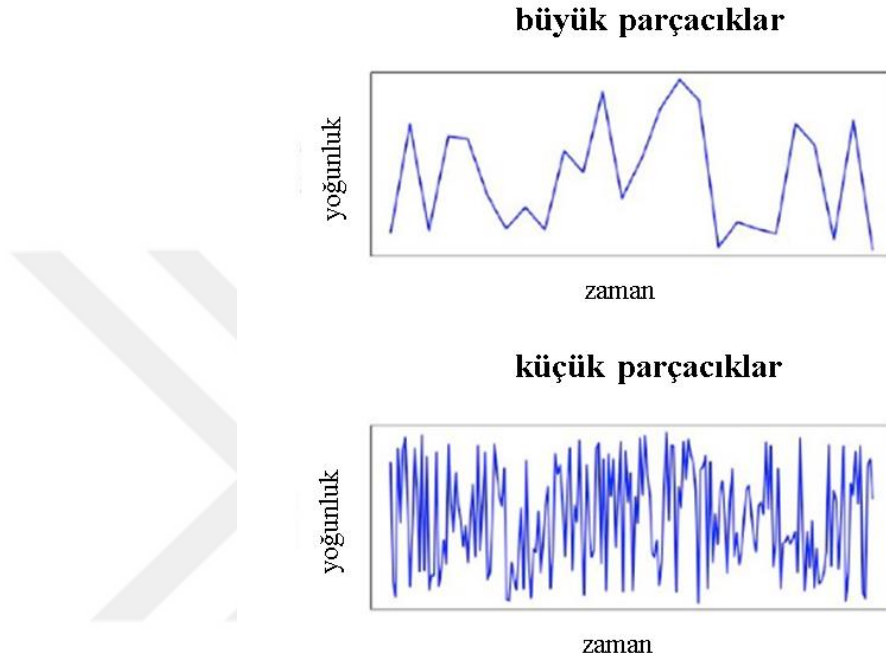


**Şekil 2. 4** Bir DLS deneyi için temel kurulum. Dedektörün doymasını önlemek için lazerden gelen ışık, numune hücreğine girmeden önce zayıflatılır.

Deney, bu açıda saçılan ışığı toplamak için sabit bir açıda bir detektör yerleştirmeyi içerir. Saçılan ışığın yoğunluğu daha sonra zamanla ölçülür. Bununla birlikte, Brown hareketi nedeniyle numunedeki parçacıklar sürekli hareket halindedir ve

saçılan ışığın yoğunluğunda dalgalanmalara neden olur. Bu, gürültülü bir sinyale neden olur.

Ayrıca, daha küçük parçacıkların daha büyük parçacıklardan daha hızlı yayıldığı bilinmektedir. Sonuç olarak, Şekil 2.5'te gösterildiği gibi, yoğunluk dalgalanmaları küçük parçacıklarda büyük parçacıklara göre daha hızlı gerçekleşir.



Şekil 2. 5 (Üst) büyük parçacıklar ve (alt) küçük parçacıklar için saçılan ışığın zamana bağlı yoğunluğu.

DLS veri işlemede ilk adım, sinyalin kendisiyle olan korelasyonunu küçük zaman aralıklarında analiz etmektir. Bunu başarmak için, sinyal, gecikme süresi ( $\tau$ ) olarak adlandırılan küçük bir miktar kaydırılır ve orijinal sinyal ile gecikmeli sinyal arasındaki korelasyon hesaplanır. Kısa gecikme sürelerinde, yoğunluklardaki korelasyon 1'e yakındır çünkü parçacıkların önemli ölçüde hareket etmek için yeterli zamanı olmamıştır. Gecikme süresi arttıkça korelasyon azalır ve 0'a yaklaşır çünkü parçacıklar orijinal konumlarından daha da uzaklaşmıştır. Bu iki sınır arasındaki korelasyon üstel bir bozulmaya uğrar.

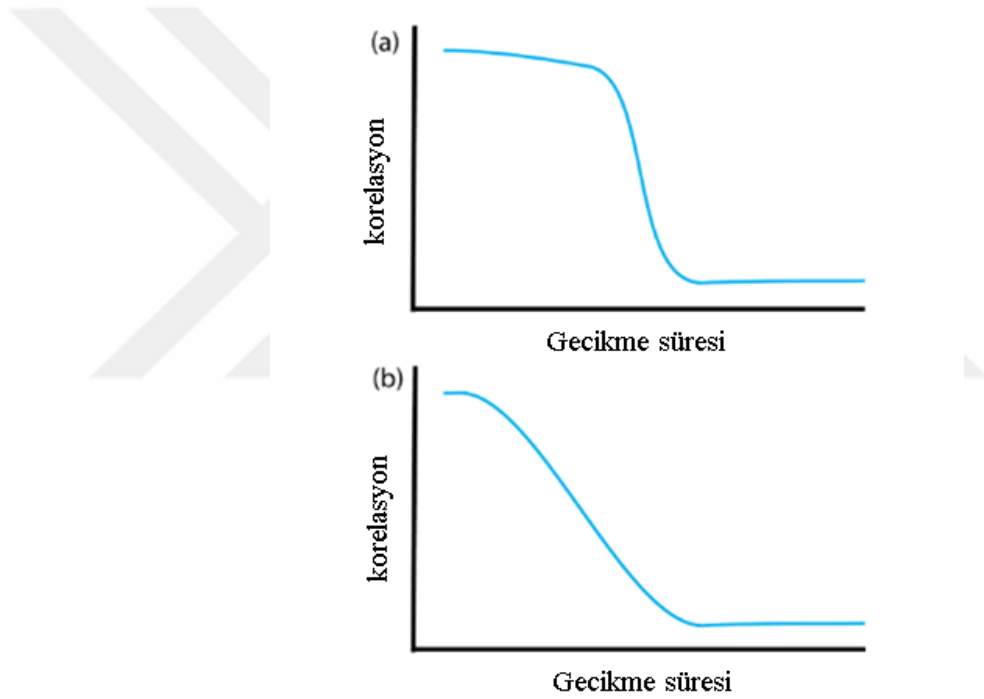
Şekil 2.6, farklı gecikme süreleri için yoğunluk dalgalanmaları arasındaki korelasyonun üstel bozulmasını gösteren, küçük ve büyük parçacıklar için elde edilen korelogramların örneklerini sunar. Korelasyon fonksiyonu,  $G_{(\tau)}$ , şu şekilde tanımlanır:

$$G_{(\tau)} = A[1 + Be^{-2\Gamma\tau}]$$

A ve B terimleri, sırasıyla, korelasyon fonksiyonunun taban çizgisi ve kesişimidir ve  $\Gamma=Dq^2$ , burada  $D$ , öteleme difüzyon katsayısıdır ve burada  $q$ ,  $4\pi n/\lambda_0 \sin(\theta/2)$ 'ye eşittir, burada  $n$  kırılma indisi,  $\lambda_0$  lazerin dalga boyu ve  $\theta$  saçılan ışığın toplandığı açıdır. Parçacıkların boyutu ile öteleme difüzyon katsayısı arasındaki ilişki Stokes-Einstein denklemi ile tanımlanır.

$$d = \frac{kT}{3\pi\eta D}$$

Burada  $k$  Boltzmann sabitidir,  $T$  mutlak sıcaklıktır ve  $\eta$  viskozitedir.  $G_{(\tau)}$  için bir veya daha fazla denklemi korelograma uydurmak, parçacık boyutlarının dağılımını verir.

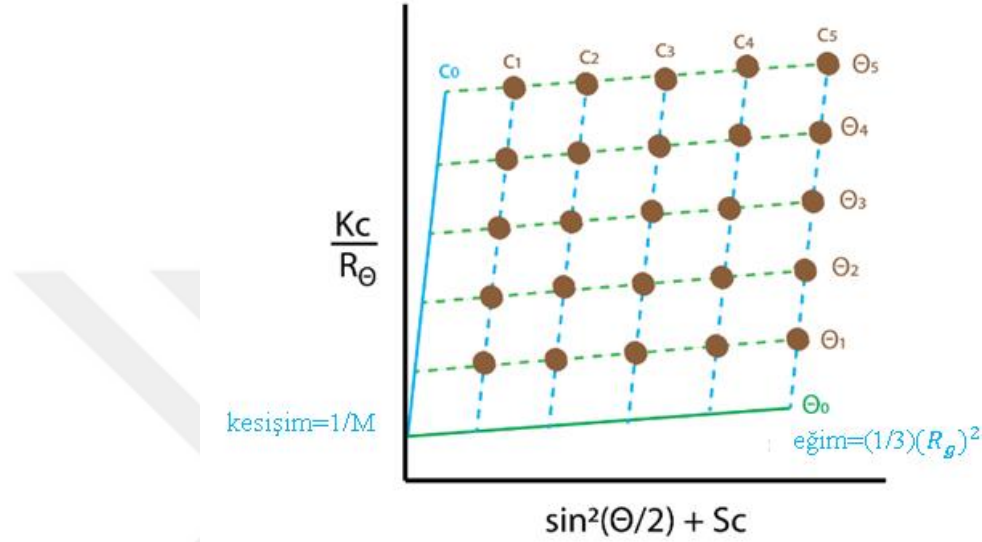


Şekil 2. 5 (a) büyük ve (b) küçük parçacıklar için korelogramlar

#### 2.1.3.4 Statik Işık Saçılımı

Dinamik ışık saçılımı, saçılma yoğunluğunun zaman içinde nasıl değiştiğini gözlemlemeye odaklanırken, statik ışık saçılımı, saçılan ışığın ortalama yoğunluğunun, saçılmanın ölçüldüğü parçacık konsantrasyonu ( $c$ ) ve açıyla ( $\theta$ ) nasıl değiştiğiyle ilgilendir. Her  $c$  ve  $\theta$  kombinasyonu için saçılma derecesi,  $R_\theta$ ,  $Kc/R_\theta$  olarak çizilir; burada  $K$ , çözücünün kırılma indisinin, konsantrasyonla kırılma indisindeki değişimin

ve bir fonksiyon olarak Avogadro sayısının bir fonksiyonu olan bir sabittir. Statik ışık saçılımında, saçılan ışığı ölçmek için açı ( $\theta$ ) seçimi önemlidir.  $X$  eksenini için uygun bir  $S$  değerinin seçilmesi, verileri ayırt etmede kritik öneme sahiptir. Ortaya çıkan çizim, genellikle, statik ışık saçılımı verilerinin tipik bir temsili olan Zimm grafiği olarak anılır. Şekil 2.7, bir Zimm grafiği örneğini göstermektedir.



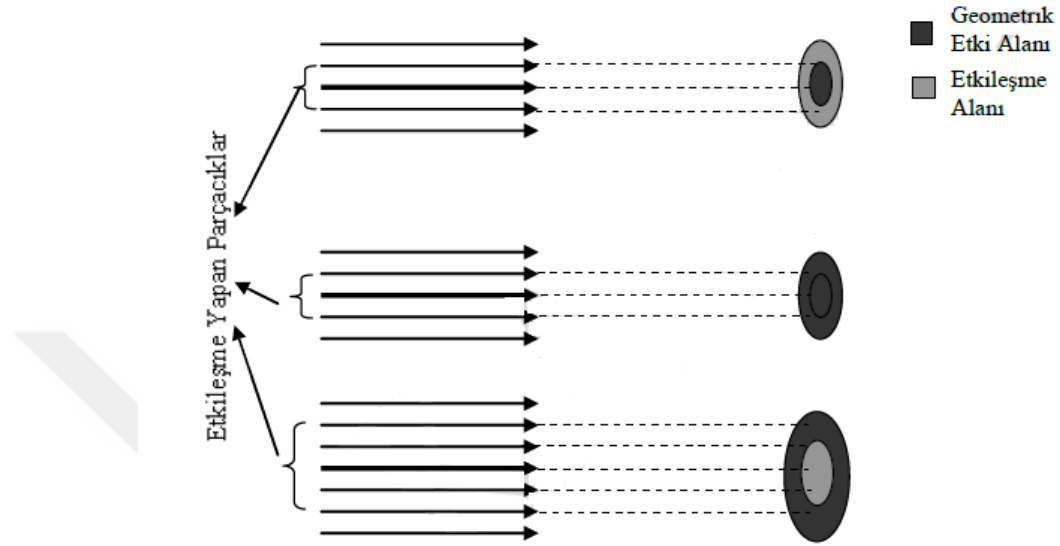
**Şekil 2. 6** Partiküllerin boyutunu ve moleküler ağırlığını belirlemek için kullanılan Zimm grafiği. Veriler, kahverengi ile gösterilen konsantrasyonlar ve açılar kullanılarak toplanır. Verilerin sıfır konsantrasyonuna (kesikli yeşil çizgiler) ve saçılma açısının sıfıra (kesikli mavi çizgiler) ekstrapolasyonu, düz mavi ve düz yeşil çizgileri verir, bu da sırasıyla moleküler ağırlık,  $M$  ve parçacık boyutu,  $R_g$  için değerler verir.

Düz kahverengi noktaların her biri, konsantrasyon ve açı kombinasyonu için  $Kc/R_\theta$  değerini verir. Her açı için,  $Kc/R_\theta$ 'deki değişiklik, sıfır konsantrasyonuna (kesikli yeşil çizgiler) geri tahmin edilir ve her konsantrasyon için,  $Kc/R_\theta$ 'deki değişiklik tekrar sıfır açısına (kesikli mavi çizgiler) tahmin edilir. Elde edilen  $c_0$  ile  $\theta = 0$  ekstrapolasyonu, parçacıkların moleküler ağırlığının ( $M$ ) tersi olan bir kesişimi verir ve  $\theta_0$ 'ın sıfır konsantrasyonuna ekstrapolasyonlarının eğimi, parçacığın dönme yarıçapı olan  $R_g$ 'yi verir ( sonuçta hareketli), bu da etkin parçacık boyutudur.

## 2.2 Foton Tesir Kesiti

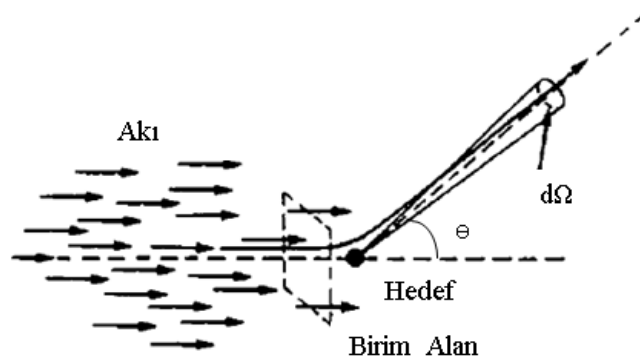
Tesir kesiti iki parçacığın kesişmesi ile hesaplanmaktadır. Tesir kesiti ile reaksiyonun meydana gelme olasılığını ve parçacıklar arasında meydana gelen temel etkileşmelerden hesaplanır(Leo, 2012).

Gelen parçacığın görmüş olduğu kesit ile doğru orantılı olarak etkileşme olasılığı o kadar büyük olur. Etkileşime girilecek materyalin tesir kesiti şekil 2.8’te gösterildiği gibi, gelen parçacığın cinsi ve etkileşmenin cinsine bağlı olup parçacığın geometrik kesitinden büyük, küçük veya eşit olabilir(Aydın, 2015).



Şekil 2. 7 Tesir kesiti kavramı geometrik yorumu temsili(Aydın, 2015)

Karakteristik bir saçılma deneyi ile bir parçacık demeti hedefe çarptırılıp elde edilen parçacıkların oranları sayılır. Elde edilen bu oran akı( belirli bir sürede bir yüzeyden geçen elektrik veya manyetik alan çizgilerinin sayısının bir ölçüsüdür(Sheldon, 2022).) ve hedefteki parçacık sayısı ile ifade edilmektedir(Martin ve Shaw, 2017).



Şekil 2. 8 Saçılma tesir kesiti tanımı

Bir  $\Phi$  akısıyla bir parçacık demeti hedef üzerine gelir. Hedefle etkileşen parçacığın bir kısmı saçılır. Bir detektör ile katı açı ( $d\Omega$ ) içerisinde saçılan birim zamandaki ortalama parçacık sayısı ( $dN$ ) sayılır. Gelen parçacık akısı ile bölünen değer diferansiyel tesir kesiti olarak tanımlanmaktadır(Ahmed, 2007).

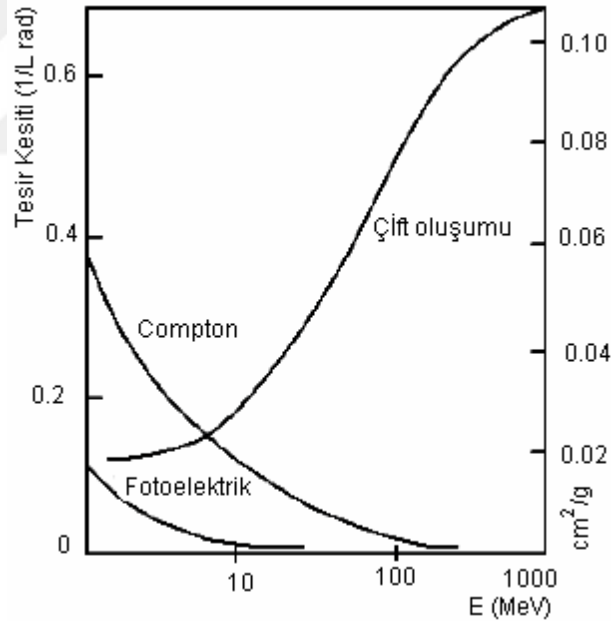
$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(E, \Omega) = \frac{1}{\Phi} \frac{dN}{d\Omega}$$

Bu eşitlikten yola çıkılarak alan boyutuna sahip gelen parçacığın enerjisinin bir fonksiyonu olarak tesir kesiti hesaplanır.

$$\sigma(E) = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega$$

Tesir kesiti ( $\sigma$ ), alan birimi  $\text{cm}^2$  ile ifade edilir. Standart birim Barn'dır. 1 barn  $10^{-24} \text{cm}^2$ 'ye eşittir(Krane, 2011).

Fotonlar madde ile birçok etkileşim yapabilmektedir ancak bunlardan en önemli olanları, şekil 2.10'de de tesir kesitleri gösterildiği gibi, fotoelektrik etki, Compton saçılması ve çift oluşumdur.



Şekil 2. 9 Fotoelektrik etki, Compton saçılması ve Çift oluşumu için tesir kesiti(Aydın, 2015)

### 2.2.1 Diferansiyel Kesir Testi

Gerçek bir saçılma deneyinde, saçıcı hakkında bilgi, farklı açılara farklı saçılma oranlarından çıkarılabilir. Dedektörler çeşitli açılarda ( $\theta, \phi$ ) yerleştirilir. Elbette, fiziksel bir dedektör, sıfır olmayan bir katı açı üzerinde saçılmış parçacıkları toplar. Sonsuz

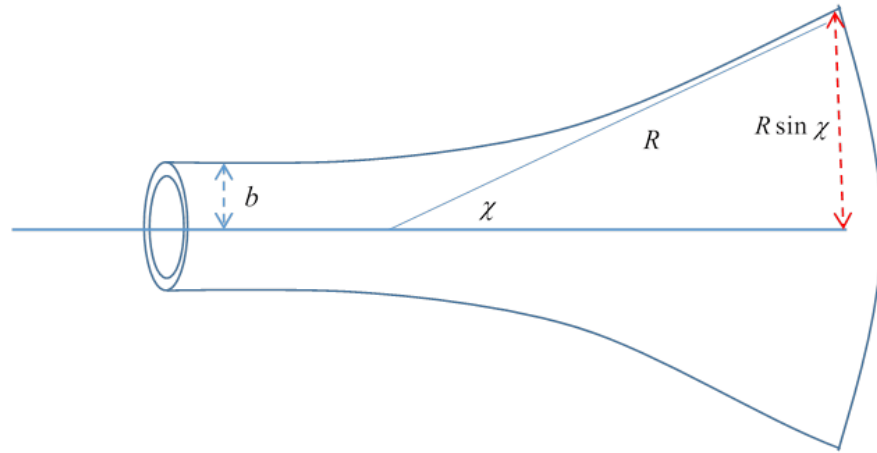
küçük katı açı için genel gösterim  $d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi$  şeklindedir. Tam katı açı (tüm olası saçılmalar)  $\int d\Omega = 4\pi$  birim yarıçaplı bir kürenin alanıdır. (Not: Landau, katı açı artışı için  $d\Omega$ 'yu kullanır, ancak  $d\Omega$  standart hale gelmiştir.)

$d\sigma/d\Omega$  ile yazılan diferansiyel tesir kesit, katı açısı  $d\Omega$  içinde ortaya çıkan saçılan parçacıkların toplam sayısının kesridir, dolayısıyla, bu detektöre partikül saçılma hızı,  $n$ , yukarıda tanımlandığı gibi ışın yoğunluğu ile  $n d\sigma/d\Omega$ 'dur.

Şimdi, potansiyelin küresel olarak simetrik olduğunu varsayacağız. Atomun merkezinden geçen parçacıklara paralel bir çizgi hayal edin. Belirli bir içeri giren parçacık için, çarpma parametresi, içeri giren uçuş hattının bu merkez hatttan uzaklığı olarak tanımlanır. Landau buna  $\rho$  diyor, biz modern kullanımı takip edeceğiz ve ona  $b$  diyeceğiz.

$B$  ve  $b + db$  arasında darbe parametresi ile gelen bir parçacık, tek bir parçacığın hareket denklemini çözerek  $\chi(b)$  hesaplayacağımız itici ters kare kuvveti ile  $\chi$  ve  $\chi + d\chi$  arasındaki bir açıya dağılacaktır.

Not: saçılan parçacığın tam yörüngesini veya yörüngesini tanımlayan  $(r, \theta)$  koordinatları için  $\theta$  kaydetmek istediğimiz için saçılan açı için bu durumda  $\theta$ 'den  $\chi$ 'ye geçtik.



Şekil 2. 10 Diferansiyel tesir kesitinin şematik diyagramı

Böylece, içeri giren bir tesir kesit  $d\sigma = 2\pi b db$ , parçacıkları giden bir küresel alana saçar (saçıcı üzerinde ortalanır).  $2\pi R \sin\chi R d\chi$ , yani katı bir açı  $d\Omega = 2\pi \sin\chi d\chi$  olduğu için bu yüzden saçılma diferansiyel tesir kesiti:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{b(\chi)}{\sin\chi} \left| \frac{db}{d\chi} \right|$$

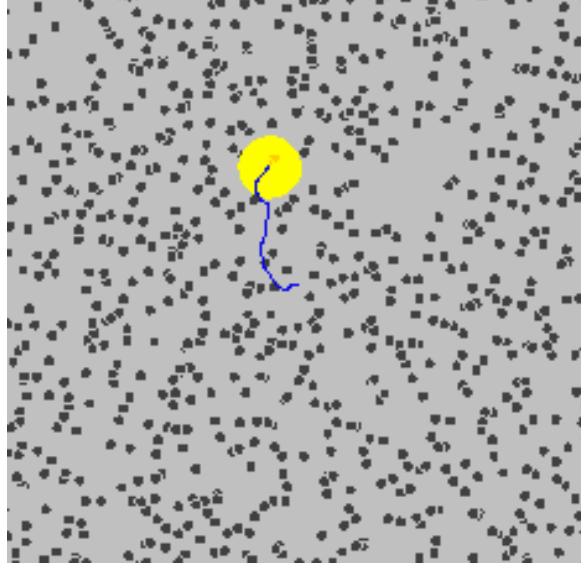
$d\chi/db$ 'nin açıkça negatif olduğuna dikkat edin -  $b$ 'yi artırmak, saçıcıdan olan mesafeyi artırmak anlamına gelir, dolayısıyla daha küçük bir  $\chi$  olur.

### 2.2.2 Brown Hareketi

Brownian hareketi, bir sıvı veya gaz içinde asılı duran parçacıkların, çevreleyen ortamdaki hızla hareket eden atomlar veya moleküllerle çarpışmalarından kaynaklanan öngörülemeyen ve düzensiz hareketidir. Bu fenomen, adını ilk kez 1827'de suda asılı polen taneciklerinin boşluklarında hapsolmuş parçacıkların rastgele hareketini mikroskop altında fark ettiğinde gözlemleyen botanikçi Robert Brown'dan almıştır. Brown, gözlemlerine rağmen hareketin nedenini açıklayamadı.

1905 yılına kadar Albert Einstein fenomeni açıkladı ve Brown tarafından gözlemlenen hareketin, parçacıklarla çarpışan bireysel su moleküllerinin sonucu olduğunu gösterdi. Bu açıklama, atomların ve moleküllerin varlığına ikna edici kanıtlar sağlayan önemli bir buluştu. Einstein'ın teorisinin deneysel doğrulaması, 1908'de Jean Perrin aynı fenomeni farklı boyut ve şekillerde parçacıklar kullanarak gösterdiğinde geldi. Perrin daha sonra, maddenin süreksiz yapısı üzerine yaptığı çalışmalardan dolayı 1926'da Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldü.

Asılı parçacıklara atomik çarpışmaların uyguladığı kuvvetin yönü sürekli değişiyor ve bu da Brownian hareketinin görünüşte rastgele doğasıyla sonuçlanıyor. Bu hareket, difüzyon ve kimyasal reaksiyonlar dahil olmak üzere birçok fiziksel ve kimyasal süreç için gereklidir ve biyofizik, koloidal kimya ve malzeme bilimi gibi çeşitli alanlarda önemli uygulamalara sahiptir.



Şekil 2. 11 Brown hareketi temsili

Şekil 2.12, nispeten büyük bir toz parçacığının, çeşitli hızlarda ve yönlerde rastgele hareket eden daha küçük gaz moleküllerinden oluşan bir kümeyle çarpışırken Brownian hareketini gösteren bir bilgisayar simülasyonudur. Bu simülasyon, daha büyük ve daha küçük parçacıklar arasındaki sürekli çarpışmalardan ve etkileşimlerden kaynaklanan Brownian hareketinin kaotik ve öngörülemez doğasının görselleştirilmesini sağlar. Bu hareketin rastgele doğası, çevredeki gaz moleküllerinin toz parçacığına uyguladığı kuvvetlerin yönü ve yoğunluğundaki sürekli değişikliklerin bir sonucudur. Bu simülasyon, yeni malzeme ve cihazların tasarımı ve geliştirilmesi için Brown hareketinin dinamiklerini anlamamanın çok önemli olduğu malzeme bilimi gibi alanlarda önemli uygulamalara sahiptir.

### 2.2.3 Foton-Atom Etkileşimleri

Madde ile foton etkileşimi aşağıdaki çizgiler boyunca ilerler:  
foton bir gaz molekülü tarafından emilir; fotonun enerjisi iyonlaşacak kadar yüksekse (yani tipik bir gaz için), ancak Compton saçılması gibi işlemler için yeterince düşük (yani, Tipik bir gaz için), o zaman molekül genel olarak, molekülü iyonize halde bırakarak foto-elektron adı verilen bir şey yayarak tepki verir; daha düşük enerjili bir fotonun absorpsiyonu, uyarılmış bir molekül ile sonuçlanır; uyarılmış moleküller fazla enerjilerinden floresan fotonlar yayarak, daha fazla elektron yayarak (Auger süreci), iç yeniden düzenlemeler veya bu süreçlerin bir kombinasyonu ile kurtulurlar; Yeterince enerjiye sahip olmaları koşuluyla, eksitasyon süreci sırasında yayılan herhangi bir foton,

yukarıdaki olaylar zincirini yeniden başlatabilir; Auger elektronları ve foto-elektronlar, enerjileri gaz karışımında bulunan moleküllerin en düşük iyonlaşma eşiğinin altına düşene kadar diğer molekülleri iyonize edebilir; kalan düşük enerjili elektronlar, tekrar iyonize etmek için yeterli enerjiyi elde ettikleri okuma odasının anotuna doğru çekilecek, böylece okuma elektrotlarında ölçülebilir bir sinyal indüklemek için yeterli elektron ve iyon üreten bir çığ oluşturacaktır.

### 2.3 Gazlı Parçacık Dedektörleri

Gaz dedektörleri tipik olarak, en azından atmosferik basınca sıkıştırılmış ve uygulanan potansiyel farkına tabi bir moleküler ve soy gaz karışımı ile doldurulmuş çeşitli geometrilere sahip elektrotlardan oluşur. Tablo 2.1’de gaz dedektörlerinde yaygın olarak kullanılan gazları, ilk iyonlaşma enerjilerini ve bu gazların kullanıldığı dedektörlerde bir elektron-iyon çifti oluşturmak için gereken minimum enerjiyi göstermektedir. Bu dedektörlerde, iyonlaştırıcı bir parçacık gazdan geçtiğinde, gaz moleküllerini iyonlaştırarak elektron-iyon çiftleri üretir. Uygulanan potansiyel farkın yarattığı elektrik alanı daha sonra iyonlaşma ürünlerini ayırarak elektronların elektrotlar üzerinde toplanmasını sağlar ve oluşturulan elektron-iyon çiftlerinin sayısıyla orantılı bir elektrik sinyali oluşturur.

| Gas     | First Ionization Energy (eV) | Minimum Energy for Electron-Ion Pair Formation (eV) |
|---------|------------------------------|---|
| Helium  | 24.5874                      | 24.6  |
| Neon    | 21.5645                      | 21.6  |
| Argon   | 15.7596                      | 15.8  |
| Krypton | 13.9996                      | 14.0  |
| Xenon   | 12.1298                      | 12.1  |

**Tablo 2.1** Gazlı dedektörlerde kullanılan gazlar ve ilgili parametreler

Gazlı parçacık dedektörleri, yangın erken uyarı sistemlerinde, tıbbi görüntüleme tekniklerinde ve CERN (Avrupa Birliği Nükleer Araştırma Merkezi) gibi Yüksek Enerji Fiziği merkezlerinde devam eden araştırma ve geliştirmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Geiger-Muller sayaçlarının başlangıcından bu yana, gaz parçacık dedektörlerinin gelişimi sürekli olarak ilerlemektedir. 1992 yılında Nobel ödüllü Georges Charpak'ın Multi Wire Proportional Chamber'ı icat etmesiyle gündeme gelen bu dedektörlerin mikro yapıları günümüzde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda, algılama hızları, ölçüm hassasiyetleri ve minimum radyasyon hasarı

gibi üstün özelliklerine ek olarak, bu dedektör ailesiyle ilgili bir sorunu çevreleyen bilimsel tartışmalar olmuştur(Veenhof, 2017; Velure, 2015). Mevcut sorun, iyonların dedektörden gelen sinyal alım süreci üzerindeki etkisine ve alınan sinyalin sonuçta ortaya çıkan şekline ilişkin belirsizliktir, bu da Garfield++ ve Magboltz gibi doğru simülasyon programlarını engeller. Bu belirsizlikler, ALICE teknik tasarım raporunda belirtildiği gibi, özellikle TPC (Time Projection Chamber) gibi büyük hacimli gaz dedektörlerinde önemli bir sorun olan hatalı sonuçlara yol açmaktadır(ALICE teknik tasarım raporu, 2014).

Sadece Parçacık Fiziği için değil, Astrofizik için de iyon etkisini dikkate almak için yaygın olarak kullanılan bu simülasyon programlarının güncellenmesi şarttır. Bu konunun ele alınmasıyla elde edilecek bulgular, iyon etkisini dikkate alan gaz dedektörlerinin geliştirilmesine ve bu yönde simülasyon programlarının geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

Gaz dedektörleri, diğer atom altı parçacık dedektörleri ile birlikte, temel prensip olarak iyonlaşmaya dayalı olarak çalışır. Daha önce iyonizasyon yoluyla üretilen iyonların sinyal üzerinde hiçbir etkisinin olmadığına inanılıyordu(Sauli,1997) ve bu nedenle simülasyon programlarında iyonların etkisi hala ihmal edilebilir olarak kabul ediliyor(Garfield ve Magboltz simülasyon programları). Bununla birlikte, bu iddia son on yılda sorgulanmıştır ve mevcut araştırmalar, iyonların varlığının gerçekten de gaz dedektörlerinin performansını etkileyebileceğini göstermektedir. Bu nedenle, simülasyon programlarında iyonların etkisini yeniden gözden geçirmek ve bunların gaz dedektörü çalışması üzerindeki potansiyel etkilerini araştırmak önemlidir. Kalkan'ın (2015) doktora tezi ve yayınlanan makalesi, iyonların dedektörlerin aldığı sinyal ve dedektörün çalışma sağlığı üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir. Dünya çapında yapılan deneysel çalışmalar bu bulguyu desteklemektedir. Çalışmalar, dedektörde oluşan tüm iyonların, başta rezonans yük-değişim reaksiyonları olmak üzere mikrosaniyeler içinde farklı reaksiyonlara girdiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, yalnızca  $\text{CO}_2$ . $(\text{CO}_2)_n$  iyonik kümeleri kalır(Kalkan, 2015).

Gaz dedektörleri, özellikle iyonların gizemiyle ilgili önemli bir araştırma konusudur. Bu gizemi çözmek için birçok çalışma yapılmış ve önemli sonuçlar vermiş olsalar da hala çözülememiştir. Bilimsel toplantılarda sıklıkla tartışılan iyonik kümelerin boyutları henüz belirlenmedi. Bu, literatürde çeşitli teorik iddiaların sunulmasına neden olmuştur(Jinno ve ark., 2013; Alison ve ark., 2018; Lei An-Le, 2000; Yao ve ark., 2007; Li Shao-Hui ve ark., 2003; LIU Bing-Che ve ark., 2002).

Sonuç itibariyle iyonik kümelerin etkilerinin boyutları kadar büyük olduğu belirtilmiştir. Portekiz Coimbra Üniversitesi'nden çalışma grubu, deneysel araştırmalarının yönünü iyonlardan iyonik kümelere değiştirdi. İyonları tanımlama arayışlarında, tanımlayıcı bir özellik olarak hareketlilik kavramını benimsediler(Cortez ve ark., 2017; Encarnaçao ve ark., 2016). Bahsedilen çalışmalar, verileri literatürle karşılaştırmak için kütle spektroskopisine benzer bir yöntem kullanır ve mevcut iyonların türünün tahmin edilmesini sağlar. Bununla birlikte, birincil odak, iyonik kümelerin boyutlarının belirlenmesidir.

Gaz dedektörleri son 30 yıldır parçacık fiziği araştırma merkezleri, güvenlik, sağlık ve endüstri gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. İyonlaşma prensibine göre çalışır ve paralel plakalı gaz dedektörleri, orantılı sayaçlar, diğer adıyla Geiger-Müller sayaçları gibi kullanılan gaz dedektörünün türüne göre çalışma prensibi değişir.

Son 30 yılda mikro yapılı modellerin hızla gelişmesiyle birlikte, Gaz Elektron Çoğaltıcı (GEM) ve MICRO-MESH GAS Dedektörü (Micromegas), topluca Mikro-Pattern Gaz Dedektörleri olarak bilinen en yaygın kullanılan gaz dedektörü modelleri olarak ortaya çıkmıştır( MPGD). Bu dedektörler gaz dedektörlerinin geliştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur.

Nano yapılı gaz dedektörleri ile ilgili diğer gelişmeler literatürde geleceğin teknolojileri olarak aktif olarak araştırılmaktadır. Bu nedenle, gaz dedektörleri bilimsel araştırma, güvenlik, sağlık ve endüstri gibi çeşitli alanlarda vazgeçilmez bir araç olmaya devam edecektir.

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

<sup>55</sup>Fe spektrumu, izotop demir-55'in radyoaktif bozunması sırasında yayılan gama ışınlarının enerji spektrumunu ifade eder.

Demir-55, yarı ömrü 2,7 yıl olan radyoaktif bir demir izotopudur. Nükleer reaksiyonlarda üretilir ve ayrıca yer kabuğunda eser miktarlarda bulunabilir.

Demir-55'in bozunması sırasında yayılan gama ışınlarının enerjileri 5.9 keV ve 6.5 keV'dir. Bu gama ışınları, X-ışını floresans spektroskopisinde ve X-ışını detektörlerinin kalibrasyonunda yaygın olarak kullanılır.

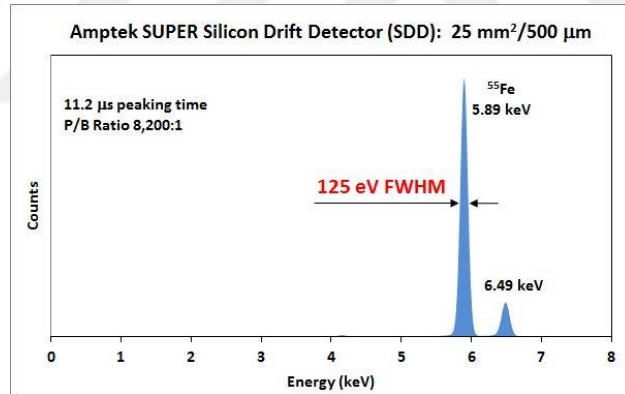
X-ışını floresan spektroskopisinde, <sup>55</sup>Fe'den gelen gama ışınları bir numunedeki atomları uyarmak için kullanılır ve numunede bulunan elementleri tanımlamak için kullanılacak karakteristik X-ışınları yaymalarına neden olur. Bu teknik, malzeme bilimi, çevresel analiz ve adli tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır.

$^{55}\text{Fe}$ 'den gelen 5,9 keV gama ışını, X-ışını detektörlerinin kalibrasyonunda da kullanılır. İyi tanımlanmış bir enerjiye sahip olduğundan, diğer gama ışınlarının enerjisinin doğru ölçümlerinin yapılmasına izin vererek dedektörün enerji ölçeğini kalibre etmek için kullanılabilir.

$^{55}\text{Fe}$  spektrumu, 5,9 keV'de keskin tepe noktası ve 6,5 keV'de küçük tepe noktası ile karakterize edilir. 5.9 keV'deki zirve, ikisi arasında daha belirgin olanıdır ve  $^{55}\text{Fe}$ 'nin çoğu uygulamasında kullanılır. 6.5 keV'deki zirve çok daha küçüktür ve genellikle yalnızca yüksek çözünürlüklü spektrumlarda görülebilir.

$^{55}\text{Fe}$ , X-ışını floresans spektroskopisi ve X-ışını detektörü kalibrasyonundaki kullanımlarına ek olarak, çevresel araştırmalarda ve vücuttaki demir metabolizması çalışmalarında izleyici olarak da kullanılır.

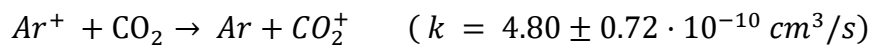
Genel olarak,  $^{55}\text{Fe}$  spektrumu, malzeme biliminden çevre analizine ve tıbbi araştırmaya kadar çeşitli alanlarda önemli bir araçtır. İyi tanımlanmış enerjisi ve belirgin gama ışını zirvesi, onu kalibrasyon için yararlı bir standart ve maddenin özellikleri hakkında değerli bir bilgi kaynağı haline getirir(Pommé ve ark., 2019).



Şekil 2.13 SDD kullanılarak alınan  $^{55}\text{Fe}$  X-ışını kaynağının Spektrumunda karakteristik pikler (Qutaishat, 2011)

## 2.5 Ne-Karbondioksit ve Ar-Karbondioksit Gaz Karışımı için Dedektör İçerisinde Oluşabilecek Yapılar

Argon,  $\text{CO}_2$ 'den daha yüksek bir iyonlaşma potansiyeline sahiptir ve  $\text{Ar}^+$  iyonları yüklerini  $\text{CO}_2$ 'ye aktarır(Kalkan, 2015). %10  $\text{CO}_2$  varsayılarak  $\sim 0,85$  ns cinsinden moleküller(Anicich, 1993):



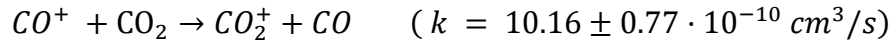
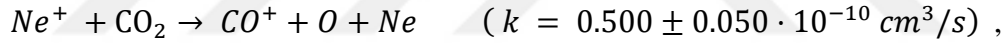
Alternatif olarak, 1951'de John Hornbeck (Hornbeck, 1951) tarafından bildirildiği gibi,  $Ar^+$  iyonları moleküler iyonlar oluşturabilir. Bunu, iki cisimli bir süreç olan homonükleer birleştirici iyonizasyona bağladı. Daha yüksekte basınç, ayrıca üç cisim etkileşiminde de oluşturulabilirler.



burada  $M$ , Ar veya  $CO_2$ , enerji momentumunun korunmasını sağlar. Wei-cheng F. Liu ve D.C. Conway'ya göre  $k$  oranı sabit alınır(Liu ve Conway, 1975). Benzer bir şekilde K. Hiraoka ve T. Mori tarafından bu  $k$  değeri,  $k = 2.0 \cdot 10^{-31} \text{ cm}^6/s$  olarak yayınlanmıştır(Hiraoka ve Mori, 1989). B.M. Smirnov ise bu değeri  $k = 2.2 \cdot 10^{-31} \text{ cm}^6/s$  şeklinde yorumlamıştır(Smirnov, 1992).

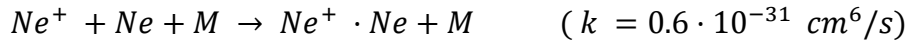
$Ar^+$ 'nın Ar ile rezonans yük değişiminin hız sabiti  $k = 4.6 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3/s$  'dir (Carlsson ve Martin, 2010) ve dolayısıyla 100ps'lik bir reaksiyon süresi moleküler iyon oluşumundan çok daha hızlıdır. Ancak bizim amaçlarımız doğrultusunda, bu reaksiyon yalnızca  $Ar^+$ 'nın, Ar'daki hareketliliğini önemli ölçüde azaltması açısından önemlidir. Aynı şey Ne'daki  $Ne^+$ 'a da olur.

Ne karışımlarında yük transferi, %10  $CO_2$  olduğu varsayılarak  $\sim 8$ ns süren 2 aşamalı bir reaksiyondur(Kalkan, 2015).



Yukarıda belirtilen hız sabitleri, V.G. Anicich ve W.T. Huntress Jr.'ın (Anicich ve Huntress, 1986) derlemesinden elde edilen (ağırlıklı ortalamalar) değerlerdir.

Kümeleme Ne'da Ar'dan daha yavaştır (Smirnov, 1992):



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Akaike ölçütü (AIC-Akaike Information Criterion) ile Histogramdan Pik Tahmini

AIC (Akaike Bilgi Kriteri) tekniğini kullanarak bir histogramdan zirveyi tahmin etmek, verilere uyan en uygun dağılımı bulmayı ve ardından bu dağılımın tepe noktasını bulmayı içerir.

AIC tekniği, farklı modellerin belirli bir veri kümesine uyumunun iyiliğini karşılaştırmak için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bilgi teorisine dayanır ve model seçiminde ve hipotez testinde yaygın olarak kullanılır.

AIC kullanarak bir histogramın tepe noktasını tahmin etmek için aşağıdaki adımlar izlenebilir:

1. Bir dağıtım seçin: İlk adım, verilere iyi uyan bir dağıtım seçmektir.

Bu amaçla kullanılan bazı yaygın dağılımlar normal, lognormal, Poisson ve gama dağılımlarını içerir.

2. Tahmin parametreleri: Bir dağıtım seçildikten sonra, bir sonraki adım verilere en uygun dağılım parametrelerini tahmin etmektir.

Bu, maksimum olasılık tahmini (MLE) veya diğer yöntemler kullanılarak yapılabilir.

3. AIC hesaplayın: Parametreler tahmin edildikten sonra, dağılım için AIC değeri hesaplanabilir. AIC,  $AIC = -2\ln(L) + 2k$  olarak tanımlanır; burada  $L$ , modelin olasılık fonksiyonudur ve  $k$ , modeldeki parametre sayısıdır. Düşük AIC değerleri daha iyi model uyumunu gösterir.

4. AIC değerlerini karşılaştırın: Farklı dağılımlar için 1-3 arasındaki adımları tekrarlayın ve veriler için en uygun dağılımı belirlemek üzere AIC değerlerini karşılaştırın. En düşük AIC değerine sahip dağılım, verilere en uygun dağılım olarak kabul edilir.

5. Zirveyi bulun: En uygun dağılım belirlendikten sonra, bu dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonunun (PDF) maksimum değeri bulunarak tepe noktası bulunabilir(Bevans, 2020).

### 3.2 MATLAB Paket Programı

Matlab, öncelikle sayısal hesaplama, veri görselleştirme ve bilimsel hesaplama için tasarlanmış üst düzey bir programlama dili ve etkileşimli ortamdır. Mühendislik, matematik, fizik, finans ve diğer birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Matlab işlevleri, belirli görevleri gerçekleştiren önceden oluşturulmuş kod bloklarıdır. Matlab, matris manipülasyonu, sinyal işleme, görüntü işleme, optimizasyon ve istatistiksel analiz gibi işlemleri gerçekleştirmek için çok çeşitli yerleşik işlevler sağlar. Kullanıcılar ayrıca tekrarlayan görevleri otomatikleştirmek veya Matlab'ı belirli uygulamalar için özelleştirmek için kendi işlevlerini oluşturabilirler.

Matlab'daki bazı yaygın işlevler şunları içerir(Matlab, 2012):

1. plot() - Verileri 2B veya 3B olarak çizer.
2. fft() - Bir sinyal üzerinde hızlı Fourier dönüşümü gerçekleştirir.
3. sort() - Bir dizideki öğeleri artan veya azalan düzende sıralar.
4. linspace() - Doğrusal aralıklı bir vektör oluşturur.
5. imread() - Bir resim dosyasını Matlab'a okur.
6. fminsearch() - Nelder-Mead tek yönlü algoritmasını kullanarak doğrusal olmayan bir optimizasyon gerçekleştirir.
7. eig() - Bir matrisin özdeğerlerini ve özvektörlerini hesaplar.
8. corrcoef() - Değişken çiftleri arasındaki korelasyon katsayılarını hesaplar.

Matlab ayrıca belirli uygulamalar için ek işlevler ve yetenekler sağlayan araç kutularına sahiptir. Bazı araç kutusu örnekleri, Sinyal İşleme Araç Kutusu, Görüntü İşleme Araç Kutusu ve Optimizasyon Araç Kutusu'dur.

Verilerin özel gereksinimlerine ve özelliklerine bağlı olarak, Matlab'da zirveleri bulmanın farklı yolları vardır(Higham ve Higham, 2016). Bu tez çalışmasında pik tayini için findpeaks işlevinden faydalanmıştır. Yaygın olarak kullanılan bazı işlevler şunlardır:

1. findpeaks: Bu işlev, belirli bir eşik değerine veya belirginlik veya genişlik gibi diğer kriterlere dayalı olarak bir 1B sinyaldeki yerel tepe noktalarını bulmak için kullanılır. Bu fonksiyonun çıktısı, tespit edilen piklerin indeksleri ve yükseklikleridir.
2. max: Bu işlev, bir vektör veya matristeki maksimum değeri ve dizinini döndürür. Bir sinyalin global maksimumunu veya belirli bir değer aralığını bulmak için kullanılabilir.

3. zirveler: Bu, belirtilen şekil, yükseklik ve konum parametreleriyle 2B veya 3B bir pik dizisi oluşturan yerleşik bir Matlab işlevidir.
4. imregionalmax: Bu işlev, yerel piksel yoğunluklarına dayalı olarak 2B veya 3B bir görüntüde bölgesel maksimumları bulmak için kullanılır. Çıktı, algılanan maksimumların konumlarını işaretleyen bir ikili görüntü maskesidir.
5. interp2: Bu fonksiyon, bir fonksiyonun değerlerini daha yüksek bir çözünürlükte enterpolasyon yapmak için kullanılabilir, bu da daha küçük tepe noktalarını veya daha doğru tepe konumlarını tespit etmeye yardımcı olabilir.
6. eğri uyumu: Bu işlev, bir model işlevini bir dizi veri noktasına sığdırmak için kullanılabilir; bu, piklerin parametrelerini ve konumlarını daha doğru ve sağlam bir şekilde bulmaya yardımcı olabilir.

Tez çalışmamda deneysel olarak yapmış olduğumuz ölçümlerin piklerini okumak için Matlab Paket Programı kullanıldı. Matlab programında aşağıda da verilmiş olan yazdığımız kod ile pik dataları alınmış oldu.

```

clc; clear; close all;
dizi = readmatrix('dosya adını giriniz');
k = 1;
x = dizi(:, 1);
y = dizi(:, 2);
y = y * 1000;
plot(y,'r')
leftValueArray = zeros(20, 1);
rightValueArray = zeros(20, 1);
w = 40;
firstPeak = y(1 : w);
[mm, ii] = min(firstPeak);
mostRepeatingValue = mode( firstPeak(1 : ii) );
leftValueArray(1) = mostRepeatingValue;
rightValueArray(1) = mm;
k = 2;
for buyukveri = 50000 : 50000 : 999980
yeniVeriMin = y(buyukveri-w : buyukveri+w);
[Min, Imin] = min(yeniVeriMin);
mostRepeatingValue = mode( yeniVeriMin(1 : Imin) );

```

```

leftValueArray(k) = mostRepeatingValue;
rightValueArray(k) = Min;
k = k + 1;
end
[leftValueArray rightValueArray]
diffArray = abs( leftValueArray - rightValueArray )
Files = dir('*.*');
for k = 1 : length(Files)
FileNames = Files(k).name;
end

```

### 3.3 Rayleigh Saçılması Tekniği ile Boyut Analizi

Bu tez çalışmasında Rayleigh Saçılması tekniği ile gazlı atom-altı parçacık dedektörlerinde oluşan iyonik küme boyutlarının analizi yapılmıştır.

Deney, gaz fazındaki iyonik kümelerin boyutunu belirlemeyi amaçlamıştır ve bu nedenle, doğru sonuçlar elde etmek için zayıf bir lazer ışığı gerekiyordu. Gelen lazer ışığının yalnızca küçük bir kısmı dağılacığından, sensör sisteminin tasarımının oldukça hassas olması gerekiyordu. Bu gereklilikleri karşılamak için, deneysel sistem dikkatli bir şekilde tasarlanmış ve hassasiyet ve kesinlik için optimize edilmiştir.

Rayleigh'nin 1895 ve 1907'de tanıtılan yaklaşımı, üzerine ışığın saçılacağı nesnenin belirli sınır koşullarına dayalı olarak geliştirilen Fresnel-Kirchhoff denklemini kullanan eski teknikten bir sapmaya işaret ediyordu. Bunun yerine, Rayleigh'nin yöntemi, ışık saçılımı çalışmasında önemli bir ilerlemeyi temsil eden vektör pertürbasyon tekniğine dayanıyordu. Bu yaklaşımı kullanarak Rayleigh, o zamandan beri modern optik araştırmalarının temel taşı haline gelen ışığın küçük parçacıklar tarafından saçılmasını açıklamak için daha genel ve esnek denklemler geliştirmeyi başardı(Stover, 2012). Klasik Rayleigh saçılması tesir kesiti, Jackson tarafından açıklandığı gibi aşağıdaki formül kullanılarak ifade edilebilir(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. Bundan yola çıkarak Rayleigh saçılmasından alınan sinyal için (Lei An-Le, 2000);

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

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

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

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

Burada  $n_0$  gaz yoğunluğunu ve  $P_0$  ise ortamdaki gazın basıncıdır. Literatür kapsamında yapılan birçok çalışma (Hagena ve Obert, 1972; Farges ve ark., 1986);

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

şeklinde bağıntıyı ifade etmişlerdir. Böylece sinyal şiddeti için (Lei An-Le, 2000);

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

denklem ortaya çıkar. Deneyin başarısı, kısmen, sinyal yoğunluğu ve basınç arasındaki ilişkinin doğrulanmasıyla belirlenecektir. Bu doğrulama, deneyin başarılı sayılabilmesi için karşılanması gereken önemli bir kriterdir. Sonuç olarak;

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

iyonik kümelerin boyutunu belirlemek için, deneyden elde edilen sinyal yoğunluğunu belirli bir basınçta ölçeceğiz. Sinyal yoğunluğu verilerini analiz ederek, numunede bulunan kümelerin boyutunu anlayabiliriz.

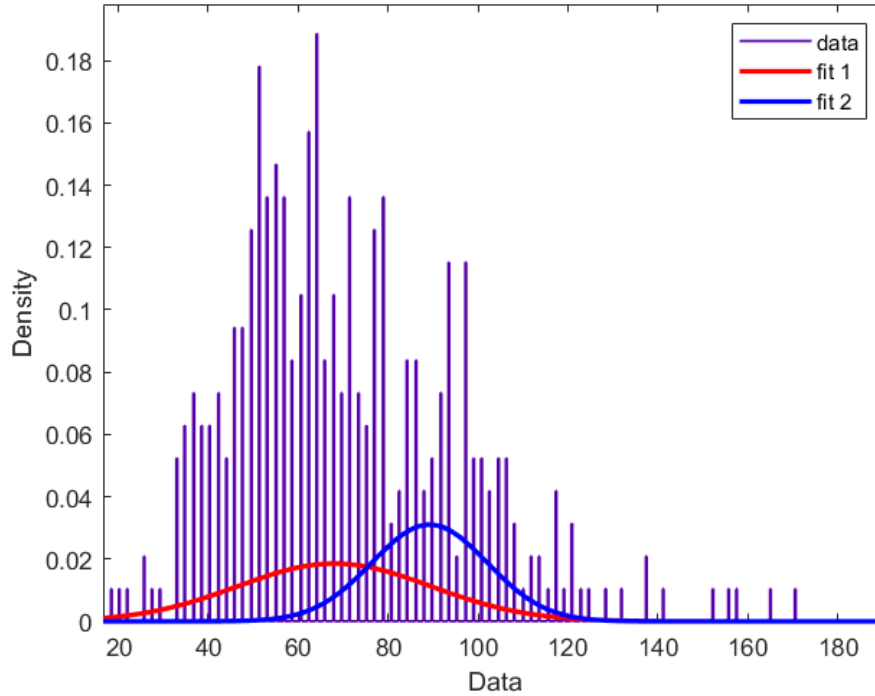
## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

### 4.1 Saf Neon İçin Elde Edilen Sonuçlar

Boyut tahmini için Rayleigh saçılma yöntemini kullanan çalışmalar incelendiğinde, incelenen parçacıktan saçılan ışığın yoğunluğunun parçacık boyutu ile orantılılığının kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Bir atomun çapı genellikle, birbirine bağlı iki özdeş atomun çekirdekleri arasındaki mesafenin yarısı olarak tanımlanan atom yarıçapının iki katı olarak tahmin edilir. Bununla birlikte, neon bir soygaz olduğundan ve diğer atomlarla bağlanmak yerine tek tek atomlar olarak var olduğundan, çapı tipik olarak van der Waals yarıçapının iki katı olarak tanımlanır; bu, boyutunun veya başka bir atoma bağlı olmadığında atom yarıçapının bir ölçüsüdür. Neonun'un van der Waals yarıçapı yaklaşık 154 pm'dir, dolayısıyla bir Neon atomunun çapı  $2 \times 154 = 308$  pm olarak tahmin edilebilir. Literatürde Neon'un iyonik yarıçaplarının olmamasının nedeni, Neon iyonlarının tipik olarak oldukça kararsız olmaları ve çok kısa ömürleri olmasıdır. Bu, iyonik yarıçaplarını doğru bir şekilde ölçmeyi zorlaştırır. Ek olarak, bir Ne katyonu olan  $Ne^+$  ile bir Ne atomu arasındaki boyut farkı nispeten küçüktür çünkü Ne katyonu bir elektron kaybetmiştir ve bu da elektron bulutu boyutunda bir azalmaya neden olmuştur. Bunun yalnızca bir tahmin olduğunu ve bir atomun tam boyutunun onu ölçmek için kullanılan yöntemle ilgili olarak değişebileceğini ve atomik yarıçapları tanımlamanın ve hesaplamaların farklı yolları olduğunu, bu nedenle değerlerin kaynağa bağlı olarak biraz değişebileceği unutulmamalıdır.

Deney kabini sadece Neon ile doldurulursa, sadece Ne atomlarının tespit edilebilmesi beklenir. Ancak ortamda etkileşim alanına yönlendirilmiş bir radyasyon kaynağı olduğu için durum farklıdır. AIC tekniğinin de dahil olduğu hazırlanmış MATLAB betiği kullanılarak, nadir sinyalleri göz ardı eden iki tür parçacık tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 4.1). İlk piklerin ortalama değerleri 68 mV civarındadır. Bu bağlamda, birinci tepe şiddetinin Ne atomlarının veya iyonlarının boyutunu temsil ettiği söylenebilir. Ne katyonlarının potansiyel oluşumları, yaklaşık 50 mV'de gözlemlenen ikincil tepe noktaları için bir açıklama sağlar. Ne dimerleri bunlardan bazıları ve aynı zamanda farklı küme oluşumlarıdır. Bu yapıların benzer boyutlar sergiledikleri söylenebilir. Verilerde göz ardı edilen önemli büyüklükteki seyrek sinyallerin, tezahür etme olasılığı düşük olsa da olası moleküler kümelerden veya kontaminasyondan kaynaklandığı varsayılmaktadır. Bir örnek olarak, deney öncesi deney kabini temizlemek için kullanılan çok küçük miktarlarda nitrojen gazı, potansiyel olarak

Neonla birleşebilir ve bu da oldukça büyük moleküler düzeneklerin oluşmasına yol açabilir.

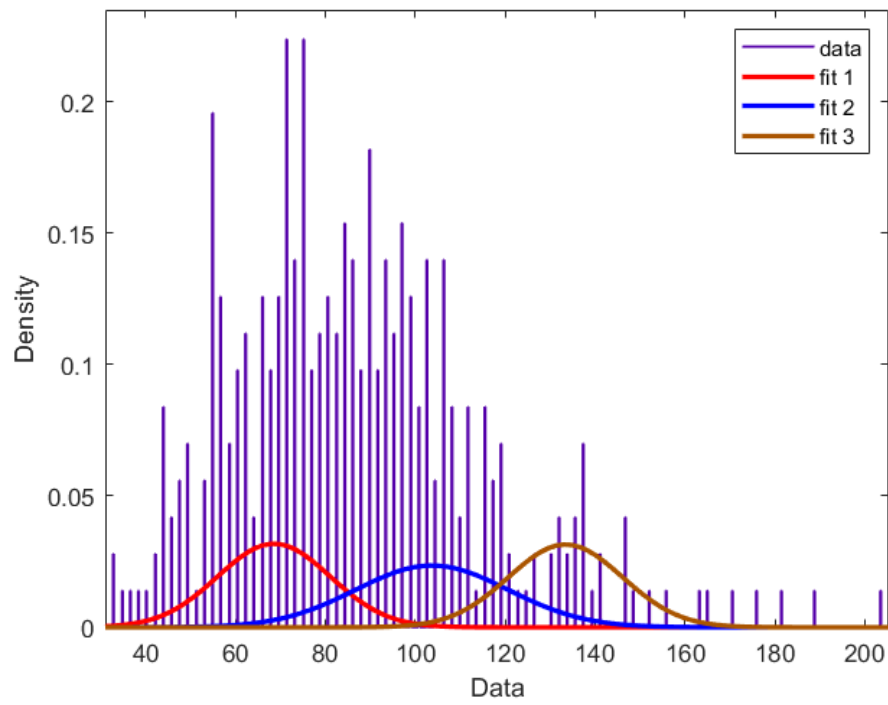


Şekil 4.1 Saf Neon için 1 ATM'de AIC tekniği ile histogram ve Gauss grafiği

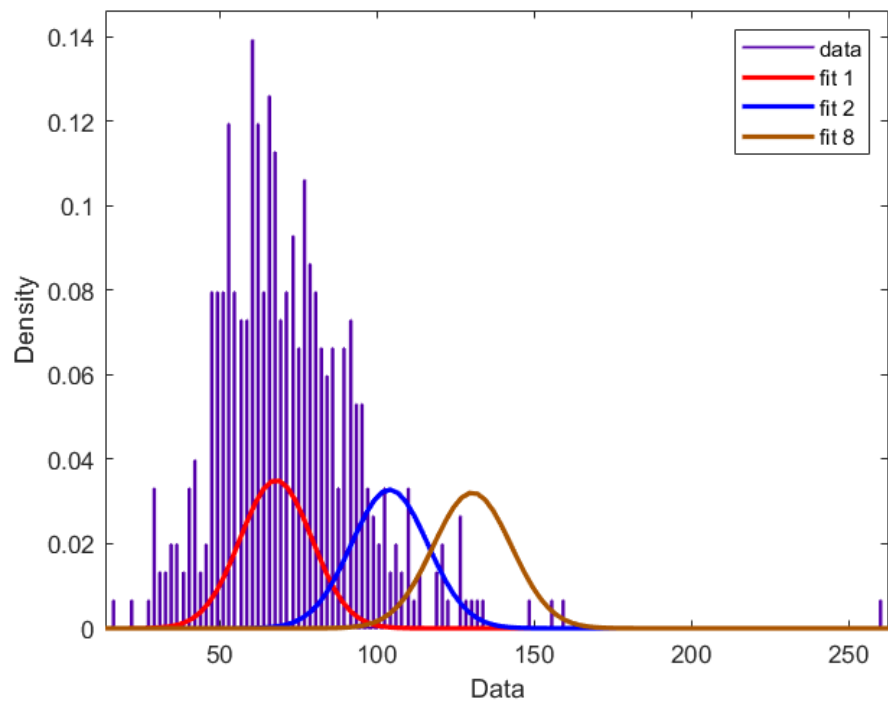
1 Atmosfer basınçtan 5 Atmosfer basınca kadar yapılan deneylerden elde edilen veriler incelendiğinde benzer histogramlar ve fit parametreleri ile karşılaşılmıştır. Dolayısıyla sadece 1 Atmosfer basınç için alınan veriler ile hazırlanan histogram ve yapılan fitler Şekil\_4.1'de verilmiştir. Basınç arttıkça, Neon ile ilişkilendirilen birinci birincil pik için bir değişiklik söz konusu olmayıp, ikincil pik ise basıncın artması ile sağa kaymakta yani büyümektedir. Bu sonuçlar anlaşılır ve beklenen sonuçlardır.

#### 4.2 %25 Neon - %75 Karbondioksit İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bu gaz karışımı kullanılarak yapılan deneylerde elde edilen verilerin oluşturduğu histogramlar ve Gauss fitleri aşağıdaki gibi hazırlanmıştır. 1-2 Atm basınç için alınan veriler incelendiğinde Neon atomu veya iyonları ile ilişkilendirilen 68 mV civarındaki pik net şekilde tespit edilmiştir. Bu piki; 104 mV civarındaki  $\text{CO}_2$  ve 131 mV civarındaki  $\text{CO}_2 \cdot \text{CO}_2^+$  iyonik kümesi izlemiştir. Deney sırasında daha büyük iyonik kümeler gözlenmemiştir. 2 Atm basınç için alınan verilerde her bir pikin olasılık yoğunluğu beklendiği şekilde artmıştır.



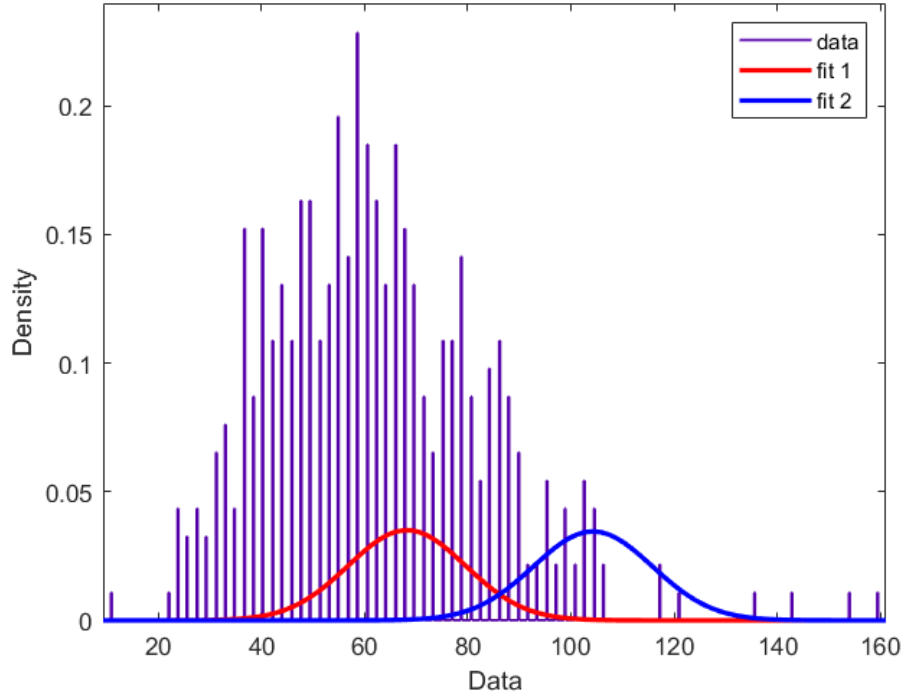
Şekil 4.2 % 25 Neon - %75 Karbondioksit karışımı için 1 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği



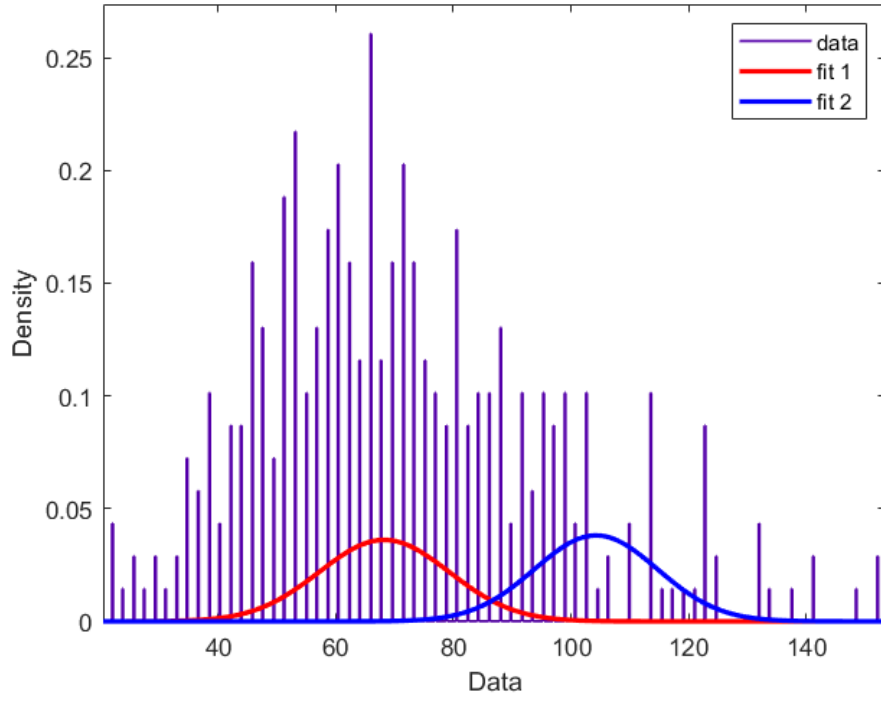
Şekil 4.3 % 25 Neon - %75 Karbondioksit karışımı için 2 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

3 Atm basınç için alınan veriler incelendiğinde, Neon ve CO<sub>2</sub> pikleri gözlenirken, iyonik küme pikleri gözlenmemiştir. Bunun sebebi olarak; basıncın artması

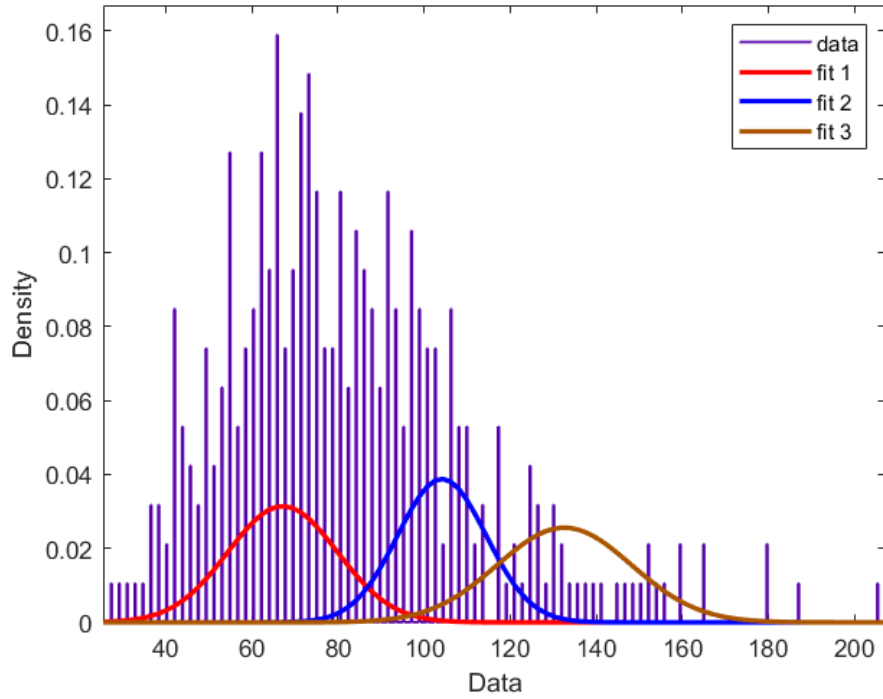
ile  $^{55}\text{Fe}$  kaynağından yayılan X-ışını radyasyonunun moleküler yapılar ile tesir kesitinin arttığı dolayısıyla özellikle veri alınan bölgede parçalanmaların arttığı düşünülmektedir. 1-2 Atm basınçta alınan verilere göre daha küçük parçacıkları işaret eden sinyallerin tespit edilmeye başlanması, bu savı desteklemektedir.



**Şekil 4.4** %25 Neon - %75 Karbondioksit karışımı için 3 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği



Şekil 4.5 %25 Neon - %75 Karbondioksit karışımı için 4 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

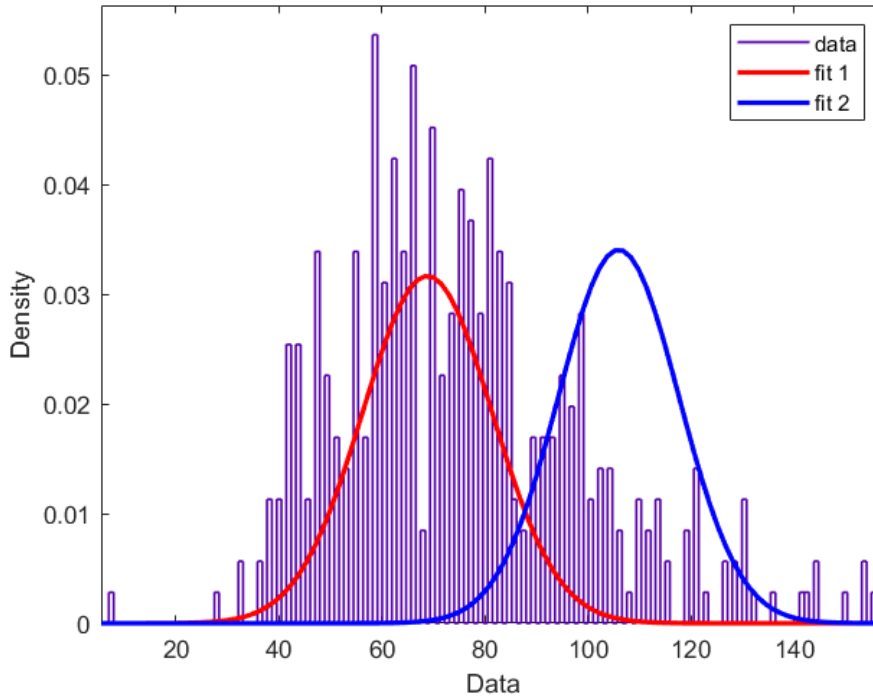


Şekil 4.6 %25 Neon - %75 Karbondioksit karışımı için 5 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

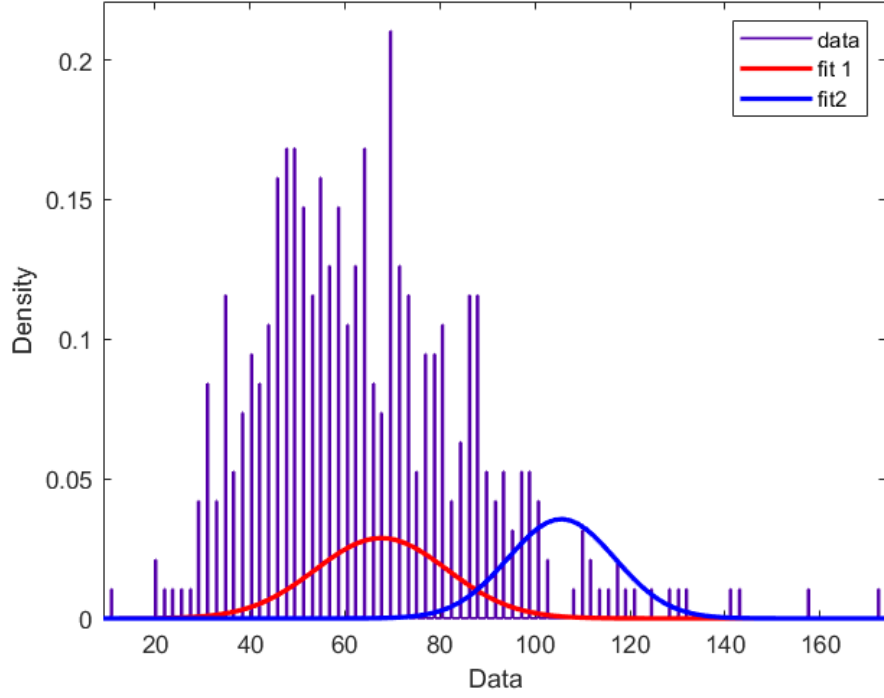
$\text{CO}_2$ . $\text{CO}_2^+$  iyonik kümesini temsil eden pik 5 Atm basınçta tekrar gözlenmiştir. Artık iyonik küme oluşum frekansı o kadar artmıştır ki parçalanmalara baskın gelmektedir. İyonik kümelerin bağ enerjileri de artmıştır.

#### 4.3 %50 Neon - %50 Karbondioksit İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bu gaz karışımı kullanılarak yapılan deneylerde elde edilen verilerin oluşturduğu histogramlar ve Gauss fitleri aşağıdaki gibi hazırlanmıştır. 1-2 Atm basınç için alınan veriler incelendiğinde Neon atomu veya iyonları ile ilişkilendirilen 68 mV civarındaki pik net şekilde tespit edilmiştir. Bu piki; 104 mV civarındaki  $\text{CO}_2$  piki izlemiştir

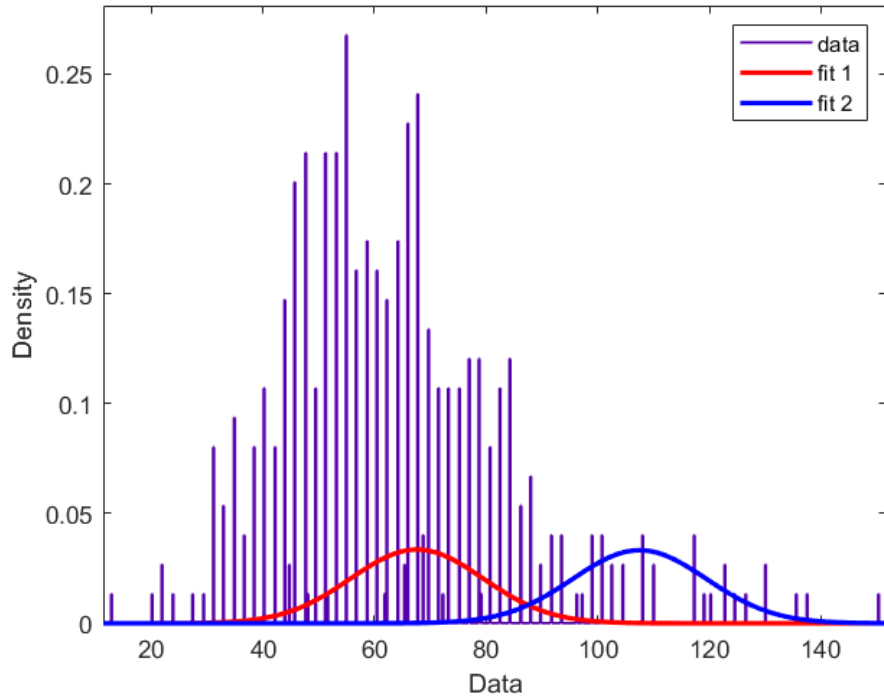


Şekil 4.7 %50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için 1 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği



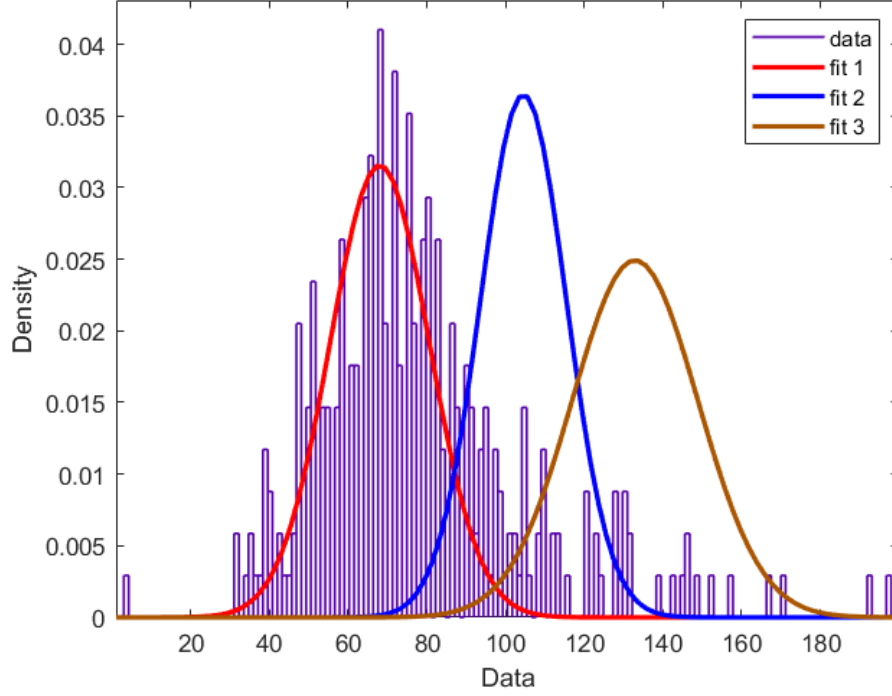
Şekil 4.8 %50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için 2 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

. 3 Atm basınç için alınan veriler incelendiğinde, Neon ve CO<sub>2</sub> pikleri gözlenirken, iyonik küme pikleri gözlenmemiştir.



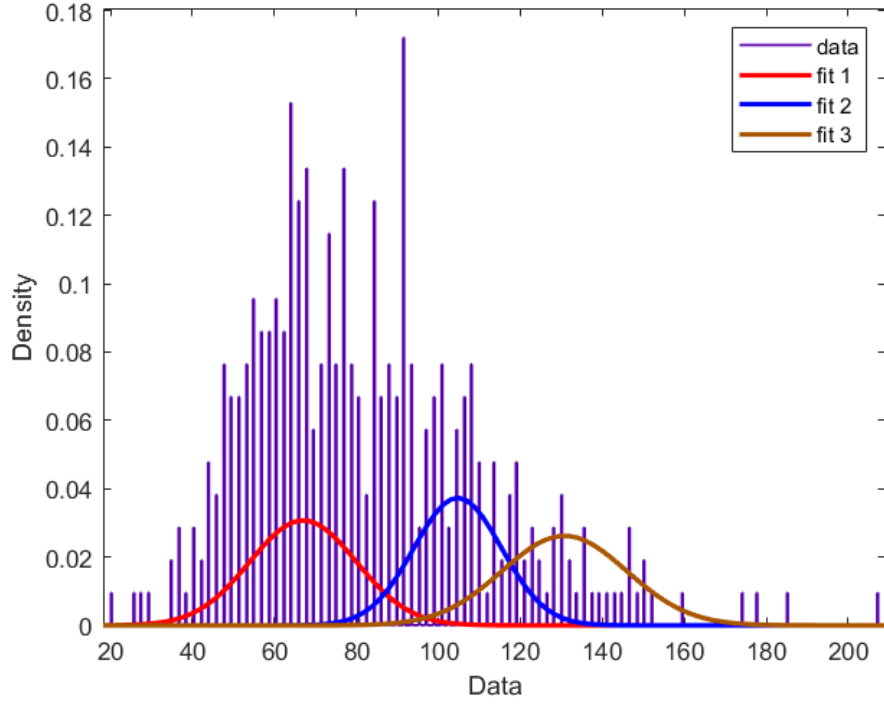
Şekil 4.9 %50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için 3 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

%50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için ilk olarak 4 Atm basınç değeri için alınan verilerde  $\text{CO}_2.\text{CO}_2^+$  iyonik kümesini temsil eden 131 mV civarında pik gözlenmeye başlanmıştır.



**Şekil 4.10** %50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için 4 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

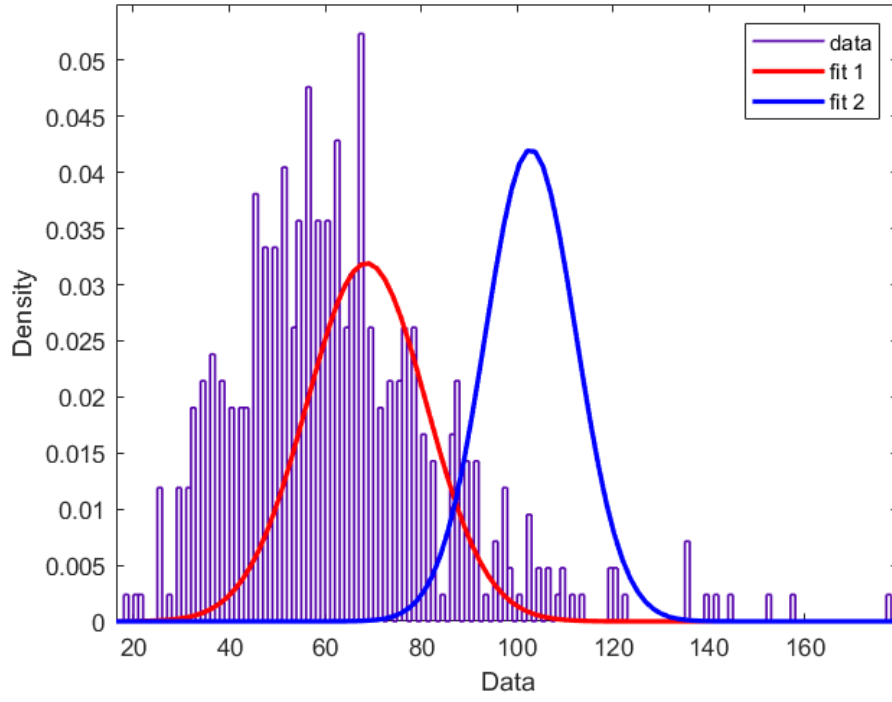
$\text{CO}_2.\text{CO}_2^+$  iyonik kümesini temsil eden pikin olasılık yoğunluğunun beklendiği gibi arttığı gözlenmiştir. Neon gazının katkı oranının ciddi bir etkisi gözlenmemiştir.



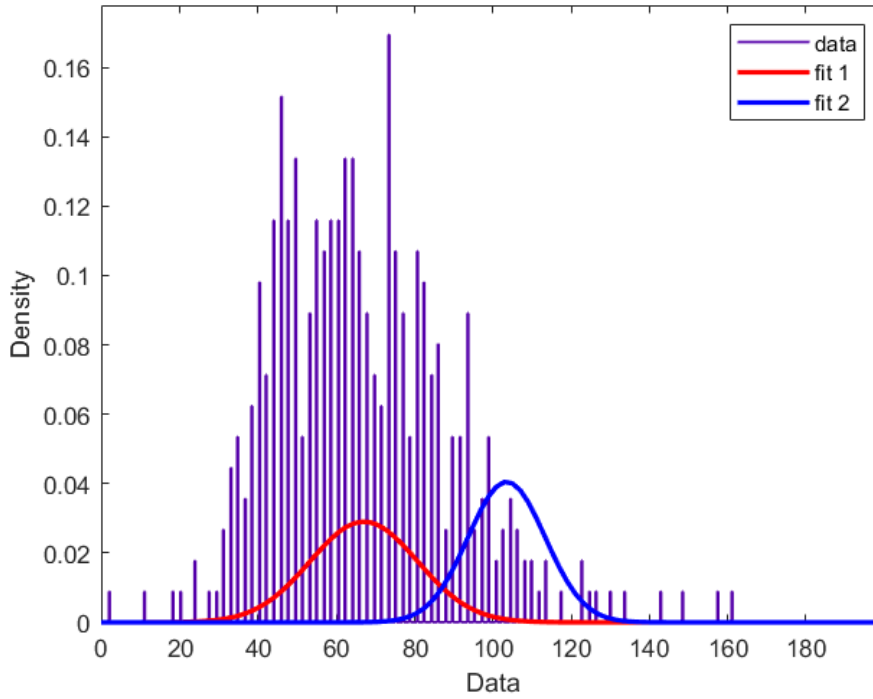
**Şekil 4.11** %50 Neon - %50 Karbondioksit karışımı için 5 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

#### 4.4 %75 Neon - %25 Karbondioksit İçin Elde Edilen Sonuçlar

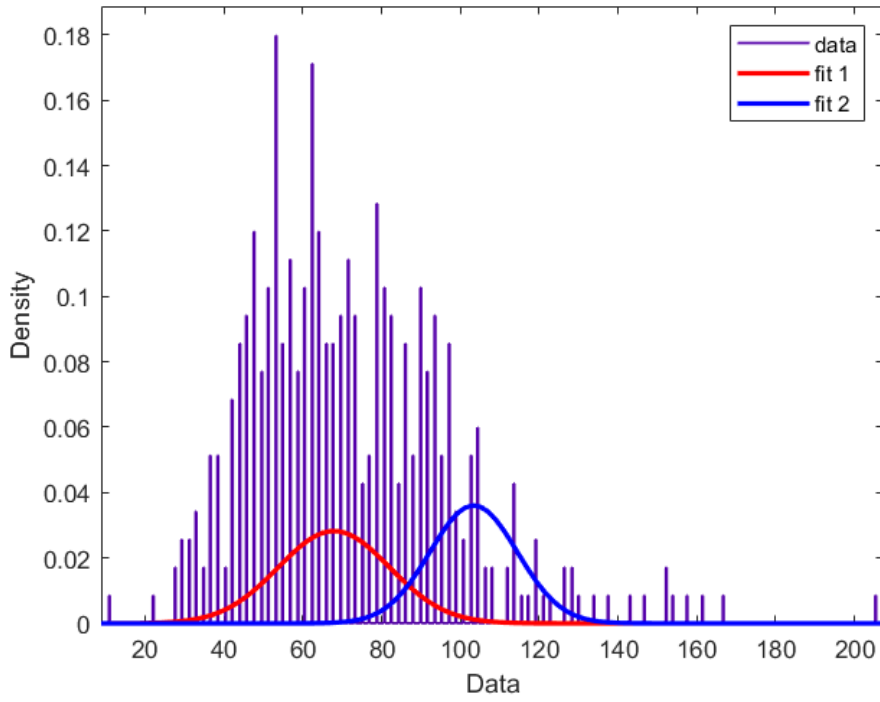
Bu gaz karışımı kullanılarak yapılan deneylerde elde edilen verilerin oluşturduğu histogramlar ve Gauss fitleri aşağıdaki gibi hazırlanmıştır. 1-4 Atm basınç için alınan veriler incelendiğinde Neon atomu veya iyonları ile ilişkilendirilen 68 mV civarındaki pik net şekilde tespit edilmiştir. Bu piki; 104 mV civarındaki CO<sub>2</sub> piki izlemiştir. Bu basınç aralığında herhangi bir iyonik kümeyi temsil eden herhangi bir pik gözlenmemiştir.



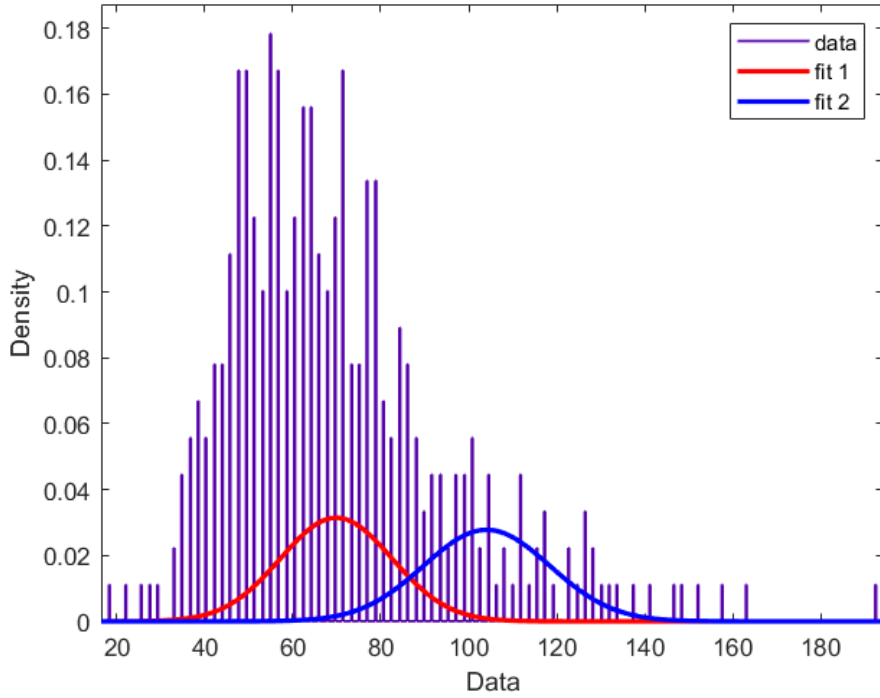
Şekil 4.12 %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için 1 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği



Şekil 4.13 %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için 2 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

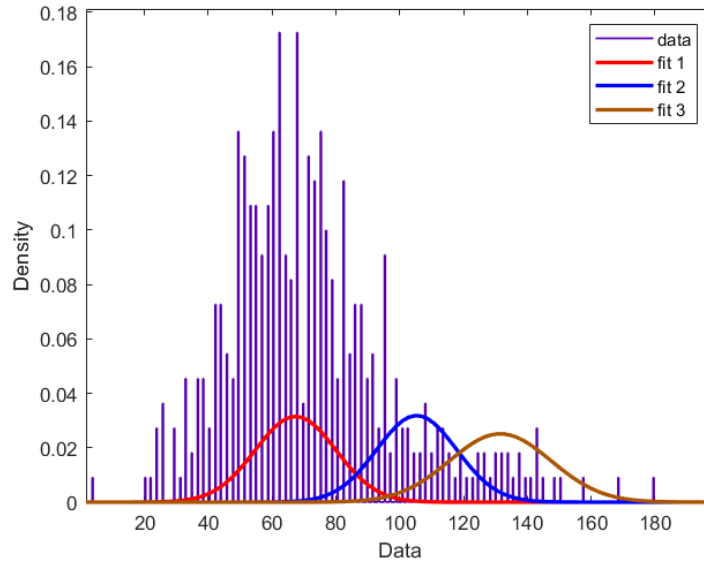


**Şekil 4.14** %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için 3 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği



**Şekil 4.15** %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için 4 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

5 Atm basınç için alınan veriler incelendiğinde %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için ilk olarak 5 Atm basınç değeri için alınan verilerde  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2^+$  iyonik kümesini temsil eden 131 mV civarında pik gözlenmeye başlanmıştır.



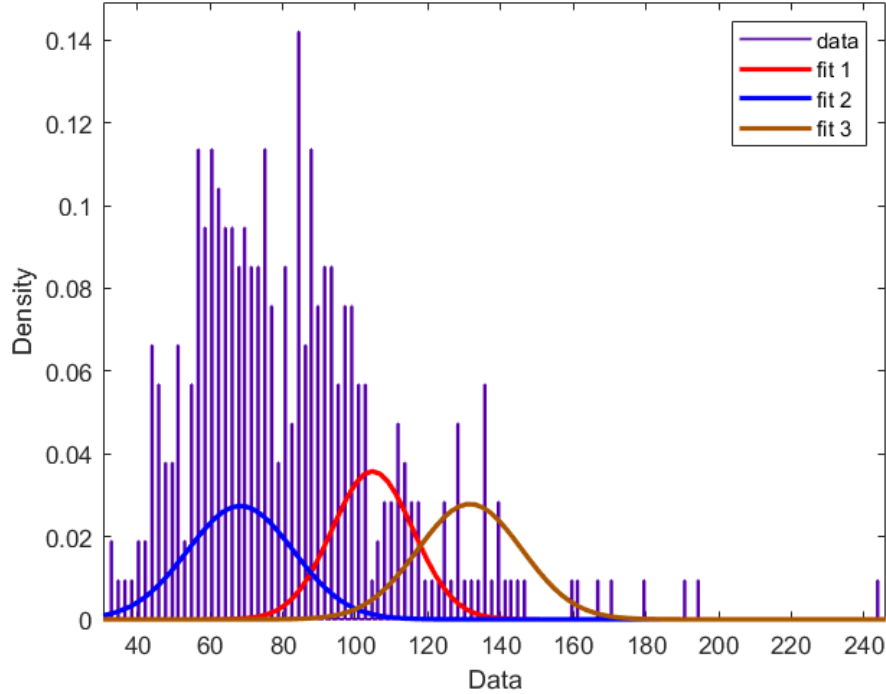
Şekil 4.16 %75 Neon - %25 Karbondioksit karışımı için 5 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

#### 4.5 Saf Karbondioksit İçin Elde Edilen Sonuçlar

Moleküler bir gaz olan karbondioksit söz konusu olduğunda, senaryo nispeten daha karmaşık bir doğa sergiler. Oda içinde tespit edilebilecek olası atomik, moleküler ve iyonik yapıları tanımlamadan önce, karbondioksitin moleküler ve iyonik yarıçaplarını dikkate almak gerekir. Ancak bu iyonlar, onları oluşturan koşulların yokluğunda kararlı değildir ve günlük kimyasal reaksiyonlarda yaygın olarak görülmezler. Genel olarak,  $\text{CO}_2$  kovalent bir molekül olarak kabul edilir ve normal koşullar altında kararlı katyonlar oluşturmaz.

Bir  $\text{CO}_2$  iyonunun iyon yarıçapı, iyonun doğasına ve oluştuğu koşullara bağlı olacaktır. Örneğin, karbondioksit  $\text{CO}_2^+$  oluşturmak üzere iyonize edilirse, bir elektron kaybı nedeniyle iyonun yarıçapı nötr molekülden daha küçük olacaktır. Bununla birlikte, yarıçapın tam değeri, iyonun spesifik elektronik konfigürasyonuna ve bağın iyonik karakterinin boyutuna bağlı olacaktır. Benzer şekilde,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2^{++}$  oluşturmak üzere iyonize edilirse, iki elektron kaybı nedeniyle iyonun yarıçapı daha da küçük olacaktır. Yine tam yarıçap, elektronik konfigürasyona ve bağdaki iyonik karakterin derecesine bağlı olacaktır.  $\text{CO}_2$ 'in hangi özel koşullar altında iyonlaştığını ve iyonun

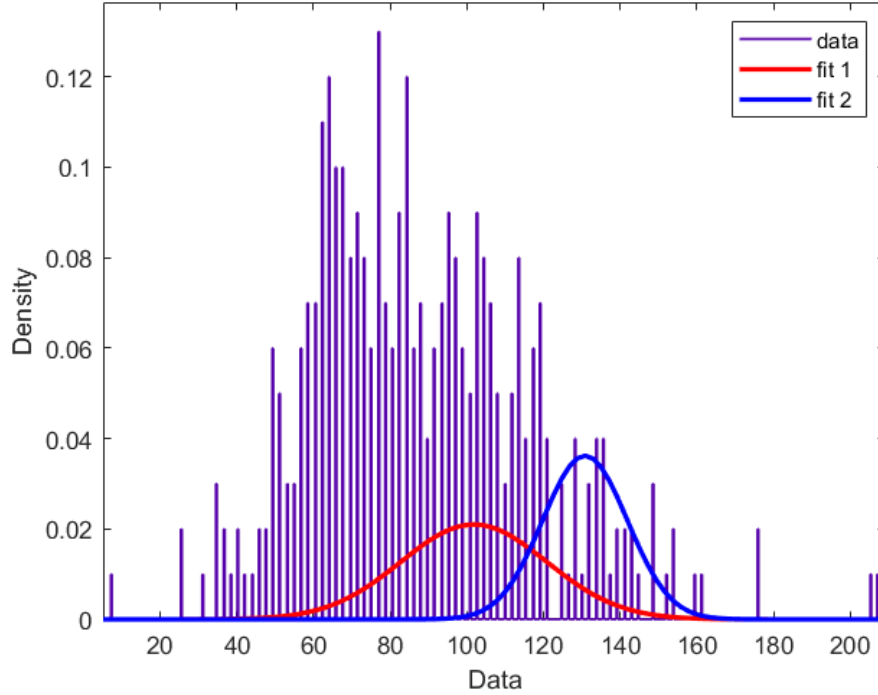
sonuçtaki elektronik konfigürasyonunu bilmeden, ortaya çıkan CO<sub>2</sub> iyonunun iyonik yarıçapını tahmin etmek zordur.



Şekil 4.17 Saf Karbondioksit karışımı için 1 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

Elde edilen spektroskopik pikler incelendiğinde (Bkz. Şekil 4.17 ), 104 meV civarında gözlenen piklerin CO<sub>2</sub> moleküllerine ve moleküler iyonlara karşılık geldiği, sonraki piklerin ise karbondioksit iyonik kümelerine karşılık geldiği gözlemlendi. Basınç arttıkça, moleküler ve iyonik yapılar birleşti ve boyut olarak büyüyerek daha büyük iyonik küme yapıları oluşturdu. 1 Atm basınçta yapılan deneyde ayrıca 68 mV civarında Neon pikleri de net şekilde gözlemlendi. Deney öncesi kabin, birkaç kez CO<sub>2</sub> ile yıkanarak vakumlandı. Ancak yine de Neon piklerinin net olarak gözlenmesi şaşırtıcı bir sonuç olsa da Neon gazının bulunduğu kabini kolay terk etmemesi anlaşılabilir bir sonuç değildir. Neon inert bir gazdır, yani reaktif değildir ve diğer elementler veya moleküllerle kolayca kimyasal bağlar oluşturmaz. Bu özellik, Neon'u normal şartlar altında çok kararlı ve tepkisiz kılar, bu nedenle içinde bulunduğu kabinden kolayca ayrılmaz. Neon ayrıca havadaki nitrojen ve oksijen gibi diğer gazlara kıyasla nispeten ağır bir gazdır. Bu, neon moleküllerinin daha yüksek moleküler ağırlığa sahip olduğu ve bu nedenle gazların karışmasına ve dağılmasına neden olan rastgele termal hareketlerden etkilenme olasılığının düşük olduğu anlamına gelir. Ayrıca, kabinin

kendisi muhtemelen kapalı bir ortamdır, bu da neonun kaçması için hiçbir doğal yol olmadığı anlamına gelir. Kabindeki herhangi bir açıklığın veya havalandırmanın, Neon moleküllerinin geçmesine izin verecek kadar büyük olması gerekir ki bu, nispeten büyük boyutları ve ağırlıkları göz önüne alındığında olası değildir. Genel olarak, neonun durağanlığı, daha ağır moleküler ağırlığı ve kabinin kapalı ortamının birleşimi, Neon'un kabini terk etmesinin zorluğuna katkıda bulunur.



**Şekil 4.18** Saf Karbondioksit karışımı için 5 Atmosfer basınçta AIC tekniği ile elde edilen histogram ve Gauss grafiği

1 Atm basınçtan 5 Atm basınç değerine çıkıldıkça 68 mV civarındaki Neon pikinin beklendiği gibi giderek etkisini yitirdiği ve daha büyük boyutlara sahip kimyasal yapıların sayıca hakim olduğu gözlenmiştir. 104 mV civarında CO<sub>2</sub> piki ve 131 mV civarında CO<sub>2</sub>.CO<sub>2</sub><sup>+</sup> iyonik küme ile ilişkilendirilen pik dışında pik gözlenmemiştir. Basınç arttıkça tespit edilen yapıların boyutsal büyüklüklerinde artış gözlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Yapılan tez çalışması sonucunda Rayleigh Saçılması yöntemi kullanılarak Neon-Karbondioksit karışımı kullanılan bir GEM dedektörünün sürüklenme bölgesinde oluşan iyonik küme yapıları incelenmiş ve boyutları hakkında deneysel tahminler geliştirilmiştir. Karışım oranına ve basınç parametresine bağlı olarak iyonik kümelerin boyut ölçümleri yapılmıştır. Neon gazının Karbondioksit gazı ile belirli oranlarda karışımının kullanıldığı gaz dolu dedektörlerde, Argon gazından farklı davranışlar gösterdiği bu tez çalışmasında ortaya konulmuştur. Daha önce Ayşe Nur MUTLU tarafından yapılan tez çalışmasında Argon-Karbondioksit gaz karışımı kullanılmış ve atmosferik basınçta bile 1-3 atomun van der Waals benzeri bir kimyasal bağla iyon ile etkileşerek kümelendiği, basınç ile iyonik küme boyutlarının büyüdüğüne dair sonuçlar elde edilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmada ise 1-3 Atm basınç değerlerinde iyonik küme oluşumu tespit edilememiştir. 4-5 Atm aralığında tespit edilen iyonik kümelerin ise olasılık yoğunluğu parametresi nispeten küçüktür. Ayrıca en fazla bir CO<sub>2</sub> atomunun bir CO<sub>2</sub><sup>+</sup> iyonu ile etkileşerek iyonik küme oluşturduğu, bundan daha büyük iyonik kümelerin oluşmadığı gözlenmiştir.

Argon-Karbon Dioksit gazı karışımı ile Neon-Karbon Dioksit gazı karışımı arasındaki davranış farkı, ilgili gazların kimyasal özelliklerindeki farklılıklardan kaynaklanıyor olabilir.

Bir gaz karışımı basınçlandırıldığında, tek tek gaz molekülleri birbirine daha yakın olmaya zorlanır, bu da moleküller arasında meydana gelen kimyasal etkileşimlerin olasılığını artırabilir. Argon-Karbon Dioksit gazı karışımı söz konusu olduğunda, Argon ve Karbon Dioksit moleküllerinin, farklı elektronegatiflikleri ve bunun sonucunda atomlarında kısmi yük oluşması nedeniyle daha fazla iyonik küme oluşturmak üzere etkileşime girmesi mümkündür. Bu etkileşimler daha uygun olabilir ve basınç arttıkça daha kolay ortaya çıkabilir.

Öte yandan Neon, tam bir dış elektron kabuğuna sahip soy bir gazdır, bu da onu kimyasal olarak inert yapar ve kimyasal reaksiyonlara katılması veya iyonik kümeler oluşturması pek olası değildir. Bu, aynı zamanda bir soy gaz olan ancak daha düşük bir iyonlaşma enerjisine sahip olan ve daha kolay iyon oluşturabilen ve kimyasal reaksiyonlara katılabilen Argonun tersidir.

Bu nedenle Neon-Karbondioksit gazı karışımının, Argon-Karbondioksit gazı karışımı ile aynı basınçta çok sayıda iyonik küme oluşturmaması mümkündür, çünkü neon atomlarının karbon dioksit molekülleri ile kimyasal olarak etkileşime girme olasılığı daha düşüktür. Neonun kimyasal reaktivitesinin olmaması, bu gaz karışımında oluşan iyonik küme sayısının daha az olmasının nedeni olabilir.

Bu tez çalışmasında deneysel olarak tespit edilen Atom/Molekül/İyon/İyonik Küme yapıları ve bunların ilişkilendirildikleri PMT sinyal şiddetleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Sinyal şiddetleri ile boyutlar arasındaki oransal uyum, kullanılan yöntemin ve elde edilen sonuçların doğruluğunu sağlamakta ve desteklemektedir.

| Atom/Molekül/İyon/İyonik Küme                 | Boyut (pm) | Sinyal Şiddeti (mV) |
|---|------------|---------------------|
| Ne/Ne <sup>+</sup>                            | 308        | ~68                 |
| CO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> <sup>+</sup> | 473        | ~104                |
| CO <sub>2</sub> .CO <sub>2</sub> <sup>+</sup> | 596        | ~132                |

**Tablo 5.1** Atom/Molekül/İyon/İyonik Küme yapıları ve PMT sinyal şiddetleri

## 5.2 Öneriler

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak Gazlı dedektörler için kullanılan Garfield<sup>++</sup>, Magboltz vb. 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

- Ahmed, S.N., 2007, Physics and engineering of radiation detection, *Academic Press*.
- ALICE Collaboration. 2014. “Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Time Projection Chamber”, CERN-LHCC-2013-020.
- 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.
- Alkholidi, A.G., 2014, Patterns of Rayleigh, Mie and Non-selective scattering. , [https://www.researchgate.net/figure/Patterns-of-Rayleigh-Mie-and-Non-selective-scattering\\_fig7\\_268804484](https://www.researchgate.net/figure/Patterns-of-Rayleigh-Mie-and-Non-selective-scattering_fig7_268804484)[Erişim Tarihi: 26.06.2022].
- Anicich, V. G., & Huntress Jr, W. T. (1986). A survey of bimolecular ion-molecule reactions for use in modeling the chemistry of planetary atmospheres, cometary comae, and interstellar clouds. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 62, 553-672.
- 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(6), 1469-1569.
- Aydın, A. (2015), "Foton deteksiyonu için rpc detektör veriminin simülasyonu", Bursa Uludag University (Turkey),
- Bevans, R. (2020), Akaike Information Criterion | When & How to Use It (Example), <https://www.scribbr.com/statistics/akaike-information-criterion/>. [Erişim Tarihi: 06.03.2023]
- Bhandari, S., 2022, Difference Between Rayleigh Scattering and Mie Scattering, <https://askanydifference.com/difference-between-rayleigh-scattering-and-mie-scattering-with-table/>[Erişim Tarihi: 26.06.2022].
- 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.
- Carlsson, J. O., & Martin, P. M. (2010). Chemical vapor deposition. In *Handbook of Deposition Technologies for films and coatings* (pp. 314-363). William Andrew Publishing.
- Cortez, A.F.V. et al. 2017. “Experimental Ion Mobility measurements in Xe-CO<sub>2</sub> mixtures”, *JINST*, 11, P05005.
- Encarnação, 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
- 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.
- Garfield Simulation Program.  
<http://garfield.web.cern.ch/garfield/> [Erişim tarihi: 13 Mart 2023].

- 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.
- Higham, D. J., & Higham, N. J. (2016). *MATLAB guide*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Hiraoka, K., & Mori, T. (1989). Formation and stabilities of cluster ions  $Ar^+ n$ . *The Journal of chemical physics*, 90(12), 7143-7149.
- Hirayama, H. 2000. Lecture note on photon interactions and cross sections, KEK, High Energy Accelerator Research Organization, Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan.
- Hornbeck, J. A. 1951. The drift velocities of molecular and atomic ions in helium, neon, and argon. *Physical Review*, 84(4), 615.
- Jackson, J. D., 1975. "Classical Electrodynamics, 2nd ed.", Wiley, New York.
- Smirnov, B. M., 2010. "Cluster Processes in Gases and Plasmas", John Wiley & Sons. Copyright. ISBN 978-3-527-40943-3.
- Jinno S. et al., 2013. "Characterization of submicron-sized CO<sub>2</sub> clusters formed with a supersonic expansion of a mixed-gas using a three-staged nozzle", *Applied Physics Letters* 102, 164103.
- Kalkan, Y., Arslanok, M., Cortez, A. F. V., Kaya, Y., Tapan, I., & Veenhof, R. (2015). Cluster ions in gas-based detectors. *Journal of Instrumentation*, 10(07), P07004.
- Klassen, S. 2011. The photoelectric effect: Reconstructing the story for the physics classroom, Vol. 20, Springer, pp. 719-731.
- Krane, K. 2011. *Modern Physics*. Department of Physics Oregon State University, John Wiley & Sons, INC United States of America.
- Lei A. L., 2000. "Size Determination of Argon Clusters from a Rayleigh Scattering Experiment", *Chin.Phy S. Lett.i*, Vol. 17, No. 9, 66.
- Leo, W.R., 2012, *Techniques for nuclear and particle physics experiments: a how-to approach*, *Springer Science & Business Media*,
- Liu, W. C. F., & Conway, D. C. (1975). Ion-molecule reactions in Ar at 296, 195, and 77° K. *The Journal of Chemical Physics*, 62(8), 3070-3073.
- Magboltz Simulation Program.  
<http://magboltz.web.cern.ch/magboltz/> [Erişim tarihi: 13 Mart 2023].
- Margin, S., 2014, *Patterns of Rayleigh, Mie and Non-selective scattering.*, <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/interaction-radiation-matter/interaction-gamma-radiation-matter/compton-scattering/>[Erişim Tarihi: 26.06.2022].
- Martin, B.R., Shaw, G., 2017, *Particle physics*, *John Wiley & Sons*,
- Mutlu, A.N. (2021), "Rayleigh saçılmasından faydalanarak gazlı detektörlerde iyonik küme boyutunun tespit edilmesi", *Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Ana Bilim*, Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 41.
- Matlab, S. (2012). *Matlab*. The MathWorks, Natick, MA.
- Pommé, S., Stroh, H., & Van Ammel, R. (2019). The <sup>55</sup>Fe half-life measured with a pressurised proportional counter. *Applied Radiation and Isotopes*, 148, 27-34.

- Sauli, F., 1997. GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors, Nucl. Instr. Meth A 386-531.
- 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.
- Sheldon, R., 2022, What is flux?, <https://www.techtarget.com/whatis/definition/flux>[Erişim Tarihi: 20.10.2022].
- Smirnov, B. M. (1992). Cluster ions and van der Waals molecules. CRC Press.
- Stover, J.C., 2012. "Optical Scattering: Measurement and Analysis, Third Edition", SPIE PRESS BOOK, Volume: PM224, ISBN: 9781628418408, p60.
- Tiwari, A., 2022, What is the Photoelectric Effect?, <https://www.scienceabc.com/pure-sciences/what-explain-photoelectric-effect-einstein-definition-exmaple-applications-threshold-frequency.html>[Erişim Tarihi: 03.05.2022].
- Veenhof, R., 2017. "Ion tails in the Atlas TRT tubes", RD51 collaboration meeting, 25-28 September 2017.  
<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.
- Qutaishat, S.A., 2011, Silicon Drift Detectors for Synchrotron Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectroscopy, Experimental Science and Applications, in the Middle East, Amman, Jordan, Volume: 1

**EKLER**

**EK-1** Deney sistemine ait fotoğraflar.

