KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKTİVASYON METODU İLE YÜKLÜ PARÇACIK REAKSİYON TESİR KESİTİ ÖLÇÜM SİMÜLASYONU

BURAK AKBIYIK

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKTİVASYON METODU İLE YÜKLÜ PARÇACIK REAKSİYON TESİR KESİTİ ÖLÇÜM SİMÜLASYONU

BURAK AKBIYIK

Prof. Dr. Recep Taygun GÜRAY
Danışman, Kocaeli Üniversitesi ……
Prof. Dr. Emine CAN
Jüri Üyesi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi. ……
Doç. Dr. Caner YALÇIN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi ……

Tezin Savunulduğu Tarih: 06/05/2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☐ Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☒ Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2021-2674 no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
Burak AKBIYIK

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....

Burak AKBIYIK

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma, uygulamalı nükleer fizik dersini desteklemek amacıyla Kocaeli Üniversitesi Fizik Bölümü için hazırlanan sanal nükleer fizik laboratuvarına ait Aktivasyon Metodu ile Yüklü Parçacık Reaksiyon Tesir Kesiti Ölçüm Simülasyonundan oluşmaktadır.

Yüksek lisans süresi boyunca göstermiş olduğu sabrı ve desteği için değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Recep Taygun Güray 'a, çalışma sürecimde benimle paylaştığı değerli önerileri ve yönlendirmeleri için Doç. Dr. Caner Yalçın Hocama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Akademik ve kişisel gelişimimdeki desteklerinden dolayı değerli Hocalarıma minnettarlığımı ifade etmek için kelimeler yetersiz kalır, ancak yine de şükran duygularımı iletmek istiyorum, yolculuğum boyunca verdikleri motivasyon sayesinde önemli adımlar atma fırsatı buldum.

Bu çalışmada FYL-2021-2674 nolu proje kapsamında çalışmamı destekleyen Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Tüm bu süreçte keyifli bir çalışma ortamı sunduğu için çalışma arkadaşım Şeyma Deniz'e ve tasarımları ile çalışmayı renklendirdiği için Zehra Dereli'ye teşekkür ederim.
Son olarak tez sürecinde beni motive eden ve fikir alışverişinde bulunan sevgilim Deniz Baylan'a, beni koşullar ne olursa olsun destekleyen canım annem Mine Akbıyık 'a, ailemizin biricik doktoru Dr. Berat Akbıyık 'a ve ilk deney arkadaşım olan rahmetli babam Şerafettin Akbıyık 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak- 2024 Burak AKBIYIK

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ……i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI……..……...…ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR….....iii
İÇİNDEKİLER…….....iv
ŞEKİLLER DİZİNİ….....v
TABLOLAR DİZİNİ…….....vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ…….....vii
ÖZET….....viii
ABSTRACT…….....ix
1. GİRİŞ.....1
2. GENEL BİLGİLER.....4
2.1. Hızlandırıcılar……4
2.2. Reaksiyonlar……..... 10
2.2.1. Reaksiyon Tesir Kesiti.....10
2.2.2. Diferansiyel Tesir Kesiti..... 11
2.2.3. Katı Açı……...13
2.3. Simülasyon…….....14
2.3.1. Simülasyon Modellerinin Genel Özellikleri.....15
2.3.2. Fonksiyonel Özellik…….....15
2.3.3. Zamana Bağlılık…….....15
2.3.4. Giriş Verisi…….....15
2.3.5. Rastgele Sayı Üreticiler.....16
2.3.6. Monte Carlo Metodu.....17
2.3.7. Box-Müller Metodu…… 20
2.3.8. Simülasyon Programının Algoritması 22
2.3.9. Kullanıcı Arayüzü.....23
3. METOT VE MATERYAL.....26
3.1. Aktivasyon Metodu.....26
3.2. Işınlama……..……26
3.3. Sayım…… 26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA……29
4.1. ^{56}Fe(p,2n)^{55}Co Test Reaksiyonu.....29
4.2. ^{113}In$(\alpha,\gamma)^{117}$Sb Test Reaksiyonu……..……...32
5. SONUÇ VE YORUM.....35
KAYNAKLAR……..... 36
EKLER..... 39
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 47
ÖZGEÇMİŞ 48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Sanal laboratuvar geliştirme hiyerarşisi……..…….…3
Şekil 1.2. Örnek simülasyon sistemi ……..…….…3
Şekil 2.1. Elektrostatik hızlandırıcı…….……4
Şekil 2.2. Dairesel hızlandırıcı…….……..5
Şekil 2.3. Sinklotron…….……..……7
Şekil 2.4. Linac…….……..……8
Şekil 2.5. CERN hızlandırıcı görseli.…….……..……9
Şekil 2.6. Gelen parçacığın hedef ile ilişkisi…….……..……...11
Şekil 2.7. Hedef bölgenin demet doğrultusundaki görünüşü…….……11
Şekil 2.8. Saçılan parçacıklar için tesir kesiti gösterimi …….……...12
Şekil 2.9. Katı açıya bağlı olarak incelenen alan……...……...……..13
Şekil 2.10. Sözde rastsal değerler üreten Javascript Kodu……..…...……...……16
Şekil 2.11. Sözde rastsal değerler ile elde edilen örnek desen……..…...……...….16
Şekil 2.12. Exponential değerler için Monte Carlo test kodu……..…...……...……18
Şekil 2.13. Rastgele seçilmiş bir exponantial değerin dağılım deseni……..…...…..18
Şekil 2.14. Efficiency için Monte Carlo deseni……..…...……...……...…19
Şekil 2.15. Intensity için Monte Carlo deseni……..…...……...……...19
Şekil 2.16. Büyük O notasyonu karmaşıklık grafiği……..…...……...……..20
Şekil 2.17. Box muller algoritmasının sözde gösterimi……..…...……...……21
Şekil 2.18. Simülasyon Programının Algoritması……..…...……...……...22
Şekil 2.19. Simülasyonun Arayüzü……..…...……...……..23
Şekil 2.20. Talys Verisi Dönüştürücü……..…...……...……...23
Şekil 2.21. Girdi alanı……..…...……...……..…...……..…….24
Şekil 2.22. Ürün çekirdeğin aktivasyon esnasındaki artış grafiği……..…...……24
Şekil 2.23. Hedef çekirdeğin aktivasyon süresince azalış grafiği……..…...……25
Şekil 2.24. Ürün çekirdeğin aktivite grafiği……..…...……...……..…..25
Şekil 3.1. Aktivasyon metodu için genel grafik ….……..27
Şekil 3.2. Test veri girdisi…….....28
Şekil 3.3. Simülasyon sayım değerleri ile tesir kesiti doğrulama aşamaları …….…....28
Şekil 4.1. Saniye başına toplam sayım grafiği……..…….……29
Şekil 4.2. ^{56}Fe-^{55}Co reaksiyonunda exponansiyeli grafiği……..…….…..30
Şekil 4.3. ^{56}Fe-^{55}Co reaksiyonunda efficiency grafiği……..…...…….30
Şekil 4.4. ^{56}Fe-^{55}Co reaksiyonunda intensity grafiği…….……..…...…….…..31
Şekil 4.5. ^{56}Fe-^{55}Co reaksiyonunda decay grafiği……..…..……..…...…..31
Şekil 4.6. ^{55}Co Count değeri için Box Muller Fonksiyon Testi.....31
Şekil 4.7. Saniye başına toplam sayım grafiği…….……...32
Şekil 4.8. ^{113}In-^{117}Sb reaksiyonunda exponansiyeli grafiği……..…….…..…..33
Şekil 4.9. ^{113}In-^{117}Sb reaksiyonunda efficiency grafiği……..……...……..33
Şekil 4.10. ^{113}In-^{117}Sb reaksiyonunda intensity grafiği…….……...……..34
Şekil 4.11. ^{113}In-^{117}Sb reaksiyonunda decay grafiği…….……..34
Şekil 4.12. ^{117}Sb Count değeri için Box Muller Fonksiyon Testi……..…...……...34
Şekil A.1. ^{56}Fe-^{55}Co ve ^{56}Fe-^{56}Co Box Muller 1000 adet Sayım grafiği.....44
Şekil A.2. ^{68}Zn-^{67}Ga ve ^{68}Zn-^{68}Ga Box Muller 1000 adet Sayım grafiği……44
Şekil A.3. ^{107}Ag-^{111}In ve ^{107}Ag-^{109}In Box Muller 1000 adet Sayım grafiği……45
Şekil A.4. ^{112}Sn-^{113}Te ve ^{112}Sn-^{113}Sb Box Muller 1000 adet Sayım grafiği……46

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Enerji değerlerine göre hızlandırıcı seviyeleri …….....……4
Tablo 4.1. ^{56}Fe-^{55}Co simülasyon girdi değerleri……...…….……..….29
Tablo 4.2. ^{113}In-^{117}Sb simülasyon girdi değerleri……..……..….32
Tablo A1. Fe Reaksiyonlarında teorik ve simülasyon sonuçları……...……40
Tablo A2. Zn Reaksiyonlarında teorik ve simülasyon sonuçları……..…41
Tablo A3. Ag Reaksiyonlarında teorik ve simülasyon sonuçları……..…42
Tablo A4. Sn Reaksiyonlarında teorik ve simülasyon sonuçları……...…43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A : Aktivite
A_0 : Başlangıçtaki aktivite
α : Alfa parçacığı
β : Beta parçacığı
β^- : Negatron
β^+ : Pozitron
B : Manyetik alan
E : Elektrik alan
F : Lorentz kuvveti
λ : Bozunma olasılığı-sabiti
N : Radyoaktif çekirdek sayısı
N_0 : Başlangıçtaki çekirdek sayısı
I_0 : Akım şiddeti
I_γ : Gama yoğunluğu (Intensity)
γ : Gama ışını
n_t : Hedef bölgedeki çekirdek sayısı
φ : Akım demetindeki mermi çekirdek sayısı
LT : Doğal bolluk (Encrichment)
c : Düzeltme faktörü (Correction Factor)
σ : Tesir Kesiti
μ : Gauss dağılımında ortalama değer
Ω : Katı açı
π : Pi sayısı
q : Yük
$T_{1/2}$: Yarı ömür
t : Zaman

Kısaltmalar

API : Application Programming Interface (Uygulama Programlama Arayüzü)
Bq : Becquerel
C : Coulomb
CERN : Conseil Europêen pour la Recherche Nuclêaire (Avrupa Nükleer Araştırma Konseyi)
Ci : Curie
CSS : Cascading Style Sheets (Basamaklı Stil Şablonları)
GeV : Giga elektron Volt
HTML : HyperText Markup Language (Hiper Metin İşaretleme Dili)
MeV : Mega elektron Volt
SI : International System of Units (Uluslararası Birimler Sistemi)
Webgpu : Web Graphics Processing Unit (Web Grafik İşleme Birimi)

AKTİVASYON METODU İLE YÜKLÜ PARÇACIK REAKSİYON TESİR KESİTİ ÖLÇÜM SİMÜLASYONU

ÖZET

Nükleer fizik eğitiminin daha net anlaşılması için uygulamalı laboratuvar deneyleri ile desteklenmesi gerekmektedir. Ancak fiziksel laboratuvarların bazı zorlukları vardır. Nükleer fizik laboratuvarlarının kurulması ve işletilmesi çok pahalıdır. Ayrıca laboratuvarlarda radyoaktif kaynakların kullanılması veya radyasyon bölgelerinin bulunması nedeniyle nükleer güvenlik kuralları dikkatle uygulanmalı ve takip edilmelidir. Laboratuvar kullanımı sırasında zaman kısıtlamalarının olması gibi nedenlerle nükleer fizik eğitiminde sanal laboratuvarların varlığının birçok avantajı bulunmaktadır. Aktivasyon Yöntemi hem nükleer fizik uygulamalarında hem de tesir kesit ölçümlerinde kullanılmasından dolayı nükleer fizikte önemli deneysel yöntemlerden biridir.Kocaeli Üniversitesi Fizik Bölümü'nde kullanılmak üzere geliştirdiğimiz sanal nükleer fizik laboratuvarının bir parçası olan bu simülasyon ile öğrencilerin aktivasyon yöntemini kullanarak enine tesir kesiti ölçümü ve nükleer reaksiyonlar ve radyasyon tespiti hakkında pratikte birçok bilgi edinmeleri amaçlanmaktadır. Sonraki süreçte Sanal laboratuvar için yeni deneyler eklemeyi ve müfredat değişikliklerine göre güncellemeyi planlıyoruz.

Anahtar Kelimeler: HPGE Dedektörleri, Monte Carlo, Nükleer Fizik, Sanal Laboratuvar, Tesir Kesiti.

SIMULATION OF CHARGED PARTICLE REACTION CROSS SECTION MEASUREMENT WITH ACTIVATION METHOD

ABSTRACT

For a clearer understanding of Nuclear Physics, it should be supported by practical laboratory experiments. However,physical laboratories have some difficulties. Nuclear physics laboratories are very expensive to set up and operate. In addition, because of the use of radioactive sources or the presence of radiation zones in laboratories, nuclear safety rules should be carefully applied and followed. Also, there are time limitations during laboratory use. For such reasons, there are many advantages of using virtual laboratories in nuclear physics education. Activation Method is one of the important experimental methods in nuclear physics because it is used both in nuclear physics applications and in cross section measurements. With this simulation, which is a part of the virtual nuclear physics laboratory we have developed for use in the Physics Department of the Kocaeli University, it is aimed that the students will learn how to measure the cross-section using the activation method, while absorbing a lot of information about nuclear reactions and radiation detection in practice. In addition, we plan to add new experiments for the virtual laboratory and update it according to curriculum changes.

Keywords: HPGE Detectors, Monte Carlo, Nuclear Physics, Virtual Laboratory, Cross Section.

1.GİRİŞ

Fizik eğitiminde öğrenmeyi destekleyici fiziksel laboratuvar uygulamaları, öğrenenlere gerçek verilerle çalışma imkânı sunmaktadır. Öğrenenlere, teori ve uygulama arasındaki uyumsuzluklardan kaynaklı beklenmeyen durumları telafi ederek farklı öğrenme deneyimleri sağlar (Nickerson ve diğerleri, 2006; Özkul, 2003a). Fiziksel laboratuvarlarda, öğrenenlerin laboratuvar çalışmalarını gözlemleyen, ilerlemelerini takip eden, çalışmalarında yardım eden öğretim elemanları, teknisyenler gibi destek personelleri bulunmaktadır (Cooper ve diğerleri, 2005). Bu tür laboratuvarların uygulamaları, öğrenenlerin gerçek bir laboratuvar deneyimi kazanmaları açısından oldukça elverişli olmasına rağmen, açık ve uzaktan öğrenme durumunda elverişsiz hale gelmektedir. Açık ve uzaktan öğrenmeyi cazip kılan en önemli avantajlarından biri olan zaman ve mekân bağımsızlığı, öğrenenlerin belirli bir zamanda belirli bir mekânda bulunma zorunluluğunu ortadan kalkmaktadır (Tofazzal, 2010). Laboratuvar uygulamaları için belirli bir mekâna gelmek, öğrenenler açısından önemli sıkıntılar yaratabilmektedir. Öğrenme kaynaklarının uzakta olması, Laboratuvar uygulamaları için farklı çözümler geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir (Çivril, 2018).Laboratuvarların öğrenme çıktılarının uygun şekilde yansıtılmasını sağlayıcı ve öğrenenler için değerli bir öğrenme ortamı olacak şekilde tasarlanması kurumlar açısından pahalı ve karmaşık girişimlerdir (Gröber ve diğerleri, 2007).Pahalı ekipmanların kullanılması, araç-gereç eksiklikleri, mekân yetersizlikleri gibi durumlar eğitim kurumlarında karşılaşılan sıkıntılardan bazılarıdır (Dereli ve diğerleri, 2021). Ayrıca kalabalık sınıflarda öğrencilerin gruplar halinde deneyleri yürütmesi ve zaman sınırlamasının olması gibi olumsuzluklar nedeniyle laboratuvar uygulamaları genellikle öğrencilerin ders kitaplarındaki yönergelerin dışına çıkmadan gerçekleştirdikleri deneyler haline dönüşmekte ve öğrencilerin uygulama becerilerini geliştirmede yetersiz kalmaktadır (Kennepohl, 2010; Özkul, 2003b). Ayrıca laboratuvarda fiziksel uygulama eğitimleri ekipman maliyeti sebebiyle öğrencilere gruplar halinde, belirli dönemlerde veya yıl içerisinde belirli günlerde verilmektedir. Nükleer fizik eğitimlerinin de uygulamalı olarak işlenebilmesi için laboratuvar ortamı gereklidir.

2019 yılında başlayan pandemi sebebiyle eğitim alanında diğer alanlarda olduğu gibi birtakım zorluklar ortaya çıkmıştır. Sanal laboratuvar sayesinde öğrencilerin bireysel

olarak veya gruplar halinde diledikleri zaman bu eğitimlerini gerçekleştirmeleri hedeflemektedir. Yaptığımız çalışmada sanal laboratuvarların bu avantajlarından faydalanarak öğrencilere sınırsız deney yapma imkanı sağlayan bir sanal laboratuvar geliştirerek öğrencilerin bu konudaki eğitimlerini hızlandırmak amaçlanmaktadır. Zaman ve mekan bağımsızlığı avantajı özellikle pandemide sağlık açısından güvenliği sağlamaktadır. Sanal laboratuvarlar gerçek laboratuvar ortamlarının simülasyonlarıdır ve çeşitli yazılımlar ile geliştirilebilir. Sanal laboratuvarlar görsel özelliklerine göre iki boyutlu ve üç boyutlu olmak üzere temelde iki şekilde gruplandırılır. Günümüzde işlemci teknolojisinin gelişimi ve bilgisayar grafiklerinin çözünürlüğünün artması sayesinde geliştirilen yeni teknolojiler Sanal laboratuvar sistemleri için büyük avantaj sağlamaktadır. İleri düzeyde gerçeklik hissi veren ve halihazırda mevcut teknolojiler ile kullanılabilen yapısal özelliği sayesinde çok yönlü bir araçtır. Sanal laboratuvarlar, etkileşimli, etkileşimsiz, sürükleyici veya işbirlikçi olarak dört kategoride sınıflandırılabilir. Sanal laboratuvar geliştirme hiyerarşisi Şekil 1.1'de gösterilmektedir.

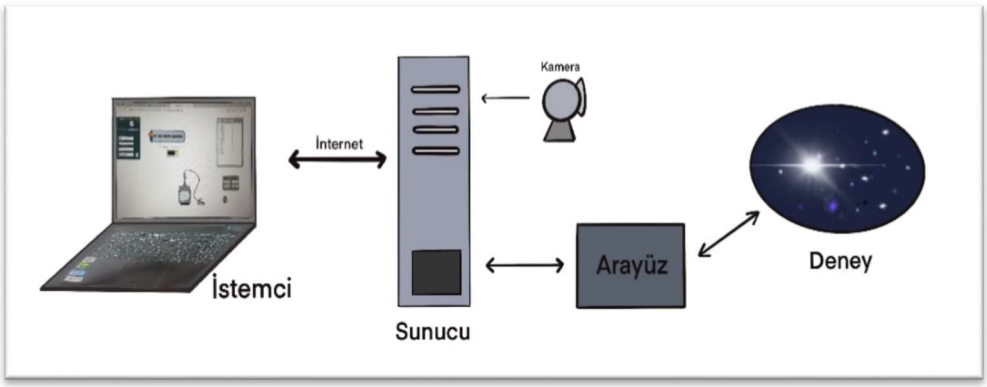


Şekil 1.1. Sanal laboratuvar geliştirme hiyerarşisi

Piramidin altında, sanal alanda fiziksel bir fenomeni yeniden yaratmak için modelleme, simülasyon ve görselleştirmenin kullanıldığını belirtmek için kullanılan bir terim olan etkileşimsiz laboratuvarlar bulunmaktadır. Etkileşimli sanal laboratuvarlar, bilgisayar faresi veya klavye kullanarak bir bilgisayar ekranında sanal bir deneyle etkileşime girebilen tek bir kullanıcıyı içerir. Kullanıcı, sanal araç-gereçleri kullanarak çalışma parametrelerini ayarlayabilir ve verileri kaydedebilir. Sürükleyici sanal laboratuvarlar hem etkileşim hem de kullanıcıların fiziksel laboratuvarlarda karşılaşacakları yere benzer

bir varlık duygusu veren bir sürükleyici etki sağladıkları için etkileşimli sanal laboratuvarlara göre daha iyi bir gelişmedir. Aynı zamanda işbirlikçi olan sanal sürükleyici laboratuvarlar, sanal laboratuvarların geliştirilmesinde zirve noktası. Deneyi bir ekip olarak gerçekleştirmek için coğrafi olarak dağılmış öğrenciler arasındaki iş birliği önemli olacaktır. Yaptığımız çalışma piramidin 2. kısmında bulunan etkileşimli sanal laboratuvar kategorisine girmektedir (Kaba, 2012).

Şekil 1.2'de görülen sistemin bir benzeri olarak geliştirdiğimiz sanal laboratuvar internet tabanlı, çevrimiçi ve çevrimdışı etkileşime izin vermektedir. Ayrıca sistem istemci tarafında kullanılacak olup iki ve üç boyutlu deneylere yer verecektir. Aktivasyon metodu ile Yüklü Parçacık yakalama reaksiyonu simülasyonu bu sanal laboratuvar içerisindeki deneylerden birisidir.



Şekil 1.2. Örnek simülasyon sistemi

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Hızlandırıcılar

Parçacıkları istenilen enerjide yüksek hızlara çıkararak bunları bir demet halinde hedef üstüne gönderen düzeneklerdir. Bu işlem için gereken hızlandırıcı tasarımları işleme göre değişiklik göstermektedir. En basit haliyle (Tablo 2.1.) düşük, orta, yüksek enerjili hızlandırıcılar olarak sınıflandırabiliriz.

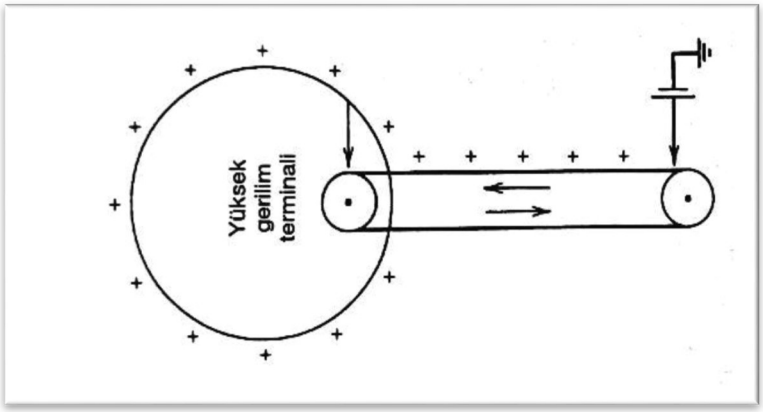
Tablo 2.1. Enerji değerlerine göre hızlandırıcı seviyeleri

Hızlandırıcı Seviyesi	Minimum Enerji	Maksimum Enerji
Düşük Enerjili	10 MeV	100 MeV
Orta Enerjili	100 MeV	1000 MeV
Yüksek Enerjili	1000 MeV	-

Hızlandırıcı çeşitleri; elektrostatik hızlandırıcılar, siklotron hızlandırıcılar, sinkrotronlar, lineer hızlandırıcılar, çarpışan-demet hızlandırıcılar olmak üzere 5 başlıkta incelenebilir.

Elektrostatik Hızlandırıcılar

Elektrostatik hızlandırıcıların temel prensibi yüksek bir gerilim ortamı oluşturarak iyon kaynağından gelen yüklü parçacıkları hızlandırmaktır. Bunun için elektrik alandan faydalanır. Elektrostatik hızlandırıcılar genellikle bilimsel ve endüstriyel uygulamalar için kullanılır.

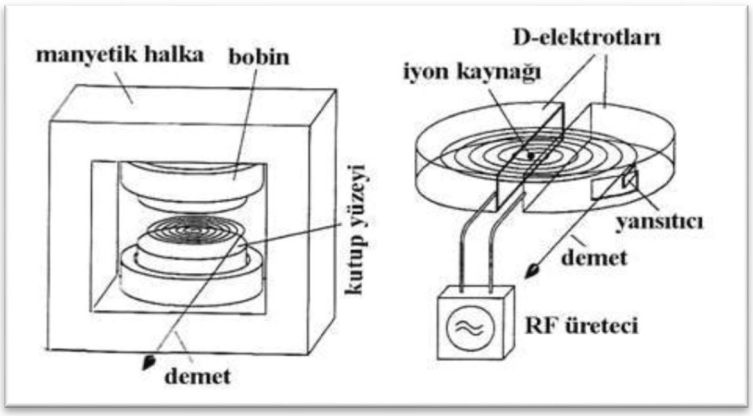


Şekil 2.1. Elektrostatik hızlandırıcı (Krane, 2002)

Fizik laboratuvarlarında kullanılan elektrostatik hızlandırıcıların en basit haliyle gösterimi Şekil 2.1 ’de verilmiştir. Van de Graf jeneratörünü temel alır ve çalışma prensibi aslında basit elektrostatiktir. Elektrostatik hızlandırıcılar, kaynak, hızlandırıcı elektrot sistemi ve hedeften oluşur. Kaynak genellikle iyonize edilmiş gaz veya parçacıklardır.

Siklotron Hızlandırıcıları

Elektrostatik hızlandırıcılara alternatif olarak dairesel hızlandırıcılar kullanılabilir. Dairesel hızlandırıcılarda her dönmede küçük bir gerilim artışı ile parçacık demetinin hızlanarak enerjisini MeV seviyesine çıkarılır. Bu işlem için dönme yüzlerce kere tekrarlanır. En eski ve en basit dairesel hızlandırıcılar siklotronlardır. Manyetik rezonans hızlandırıcısı da denilebilir. Siklotron görseli Şekil 2.2 ’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Dairesel hızlandırıcı (Krane, 2002)

Siklotron hızlandırıcıları, elektrik ve manyetik alanların etkileşimi yoluyla parçacıkları dairesel bir yörünge boyunca hızlandırmak için kullanılan cihazlardır. Temel çalışma prensibi, parçacığın bir manyetik alan içinde dairesel bir yörünge izlemesi ve her devrede bir RF (radyo frekans) alanının uygulanmasıdır. Siklotronlar, genellikle dış kenarlarına yerleştirilmiş büyük mıknatıslar tarafından oluşturulan güçlü bir manyetik alana sahiptir. Bu manyetik alan, parçacığın dairesel bir yörünge izlemesini sağlar. Parçacığın döngüsünün her devresinde, bir RF kafesi tarafından üretilen elektrik alanı parçacığı hızlandırır. Bu RF kafesi genellikle frekansı sabit tutmak için manyetik alanın bir katına bağlıdır. Manyetik alanın etkisiyle parçacık dairesel bir yörünge izler ve her devredeki RF kafesi tarafından hızlandırılır. Bu işlem, parçacığın her devrede daha yüksek enerji

seviyelerine ulaşmasını sağlar. Parçacık, istenen enerji seviyesine ulaştığında, hızlandırıcıdan çıkarılabilir ve deneysel çalışmalarda, tıbbi uygulamalarda veya endüstriyel süreçlerde kullanılabilir.

Siklotron, tek tip bir manyetik alan oluşturan mıknatıslardan ve kutuplar arasındaki tüm açıklık boyunca uzanan iki hızlanan boşluktan oluşur. Bu boşluklar yarım daire oluşturur ve aralarında hızlanan alanları oluşturur. Şekli nedeniyle boşluğa genellikle D denir. Parçacıklar D'nin içinde hareket ettiğinden, bir vakum kutusunda bulunurlar. Mıknatıslar, kutuplarını çevreleyen bobinlere ve kaçak alanı ve manyetik alanın direncini azaltan boyunduruklara sahiptir. E ve B elektrik ve manyetik alanlarında v hızıyla hareket eden q yüküne sahip bir parçacık Lorentz kuvvetini hisseder. Denklem (2.1)'de Lorentz kuvveti verilmiştir,

$$F = q(E + v \times B) \tag{2.1}$$

Siklotronun merkezinden tekdüze manyetik alan B'ye dik olarak enjekte edilen parçacıklar dairesel bir yörünge boyunca yönlendirilir. Bu koşul altında, Denklem (2.1), Denklem (2.2) haline indirgenir indirgenir,

$$F = qvB \tag{2.2}$$

Lorentz ve merkezkaç kuvveti arasındaki ilişki kullanılarak r yörüngesinin eğriliği Denklem (2.3)'te tanımlanır,

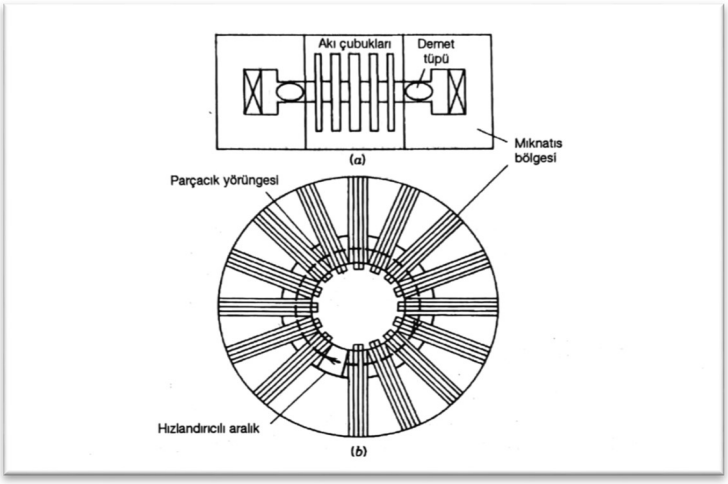
$$r = \frac{p}{qB} \tag{2.3}$$

Burada p, parçacığın momentumudur. Parçacıklar boşluklardan hızlanarak geçerken momentumları artar bu sebeple yörüngenin r eğriliğini arttırır. Parçacığın yörüngedeki hareketi spiral şeklindedir (Kaya, 2021).

Siklotronlar, Nükleer tıp, temel parçacık fizik araştırmaları, endüstriyel uygulamalarda ve radyoaktif izotop üretiminde kullanılır.

Sinkrotronlar

Sikrotronlarda enerjiyi daha yüksek düzeylere çıkarmak için makine yarıçapının artması gerekmektedir ve bu daha büyük mıknatıs kullanımını gerektirir. Mıknatıs, maliyet için ana etken olduğundan daha yüksek enerjiler için sikrotron tasarımı maliyet açısından sorun olmaktadır. Cihazın manyetik alan şiddetinin ve rezonans frekansının aynı anda değiştirilmesi sorunu ortadan kaldırır. Değiştirilmiş yeni cihaz sinkrotron olarak adlandırılır. Şekil 2.3 'te sinkrotron görseli verilmiştir.



Şekil 2.3. Sinklotron (Krane, 2002)

Sinkrotronlarda manyetik alan tüm dairesel hacme değil dairenin çevresine uygulanarak elde edilir. Dairesel yörünge izleyen parçacıklar her yörünge boyunca bir boşluktan geçerek bir rezonans elektrik alanı tarafından hızlandırılırlar. Artan enerjiyle birlikte rezonansı sürdürebilmek için boşluk boyunca ac gerilim frekansı arttırılır ve yarıçapı sabit tutabilmek içinde manyetik alan arttırılır. Alanı uzaysal değil zamana bağlı olarak değiştiririz. Temel sinkrotron koşulu Denklem (2.4)'teki şekildedir,

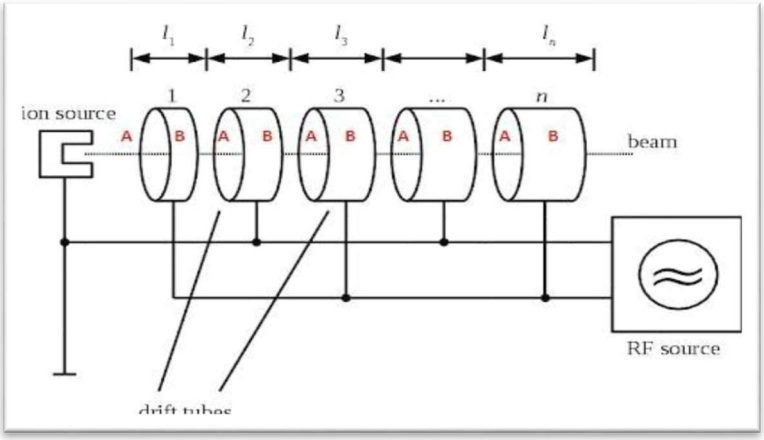
$$v = \frac{eBc^2}{2\pi\sqrt{e^2r^2B^2c^2+m^2c^4}} \tag{2.4}$$

r yarıçapı için Denklem (2.4) B manyetik alan ve v arasındaki ilişkiyi ifade eder.

Lineer Hızlandırıcılar

Lineer hızlandırıcılara linac denir. Diğer hızlandırıcı çeşitlerinden farkı, parçacıkların doğrusal olarak hareket etmeleridir. Linac'ların dairesel hızlandırıcılara göre avantajı, bu

hareketten dolayı mıknatıs maliyetinden ve manyetik alandan dolayı odaklamadaki zorluğu ortadan kaldırmış olmasıdır. Basit bir linac Şekil 2.4 'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Linac (Krane, 2002)

İyon kaynağından çıkan demet, ac gerilim kaynağının zıt kutuplarına boş boru biçimli elektrot dizisi boyunca hareket eder. Parçacıklar bu hareket sırasında hızlanırlar ve elektrodların içine girerken ac gerilim periyodunun yarısına eşit bir zaman için parçacıklar alan olmayan bir bölgeye sürüklenirler. Gerilim kutuplanması parçacığın sürüklenme tüpü içindeki sürede tersine çevrilir ve parçacıklar bir sonraki boşluğu geçerken hızlandırılırlar.

Hızlandırıcının çalışma şekli, parçacıkların her boşluğa girişinin boşluk boyunca elektrik alanla rezonans halinde olması koşuluna bağlıdır. Gerilimin yarı periyodu *t/2,* v_n parçacıkların *n.* sürüklenmede tüpün uzunluğu, Denklem (2.5) ile hesaplanır.

$$L_n = v_n t/2 \tag{2.5}$$

Üç tür linactan bahsedebiliriz. İlki Los Alomos Mezon Fiziği Tesisi'ne ait proton hızlandırıcıdır. Hızlandırıcı 200-800 MeV orta enerjili nükleon-nükleon etkileşmesi ve mezon-nükleon etkileşimlerini incelemek için yüksek şiddete sahip π mezon kaynağı sağlamak için tasarlanmıştır. Diğer bir linac hızlandırıcı çeşidi elektron linaclardır. Örnek olarak Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi verilebilir. Elektron linaclar ilerleyen dalga hızlandırıcılarıdır. Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezinde yapılan en güncel buluşkar arasında *J/ψ-mezon* ve $\tau\ lepton$' u sayabiliriz. Üçüncü tür linac olan ağır iyonların hızlandırılması için tasarlanmıştır. Lawrence Berkeley Laboratuvarındaki

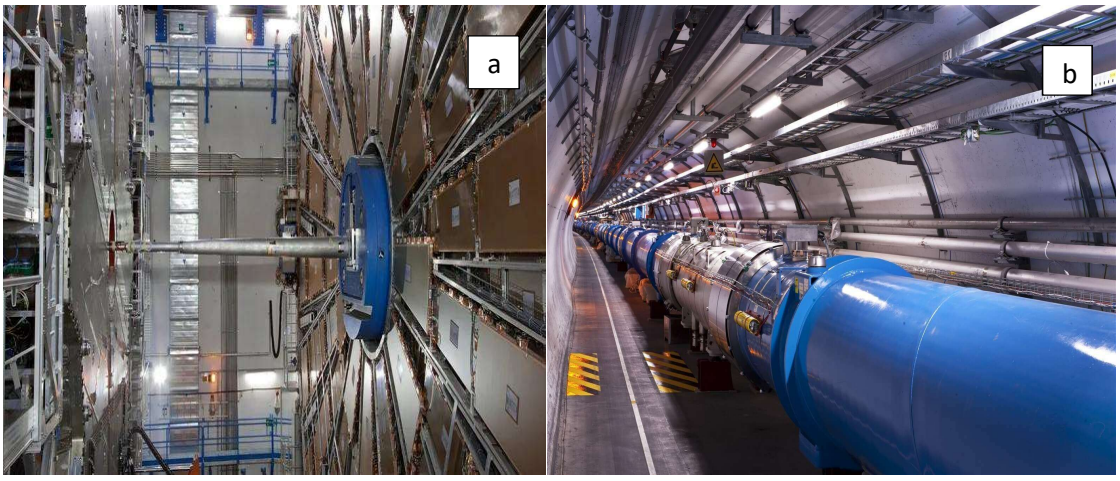
süperHILAC uranyuma kadar olan ağır iyonları nükleon başına yaklaşık 9 MeV enerjiye kadar hızlandırmak için, Cockcrft-Walton püskürtücüsü olan bir sürüklenme tüpü tasarımı kullanır. Böylece iyonlar yaklaşık olarak nükleon başına 2.5 GeV enerjiye kadar hızlandırılırlar.

Lineer hızlandırıcılar; yüksek enerjili parçacıkların çarpıştırılması için temel parçacık fizik araştırmalarında, kanser tedavisi için tıbbi uygulamalarda, malzeme analizi, sterilizasyon ve yüzey modifikasyonu gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılır.

Çarpışan-Demet Hızlandırıcıları

Parçacık hızlandırıcılarda üretilen parçacıkların durgun kütlesinde her 10 kat artışa karşılık hızlandırıcının tasarım enerjisinde ve maliyetinde 100 kat artışa denk gelir. Tasarımlardaki sorunları gidermek için maliyet azaltımı ve işleme uygunluk düşünülerek hızlandırıcılar gelişen teknoloji ile değişmektedir. Çarpışan-demet hızlandırıcıları çözüm amacıyla düşünülen tasarım değişimine bir örnektir. Bu hızlandırıcıda zıt yönlerde hareket eden eşit enerjili iki demet birbiri ile çarpıştırılır. Çarpışma kütle merkezinde gerçekleştirilir. Her demet için eşik enerjisi $\frac{m_x c^2}{2}$ 'dir. Bu şekilde, 4500 GeV enerjili bir demeti sabit bir hedefe karşı tutmak yerine 45 GeV enerjili iki demeti bir araya getirerek 90 GeV enerjili bir parçacık üretilebilir. Çarpışan-demet hızlandırıcı CERN'de kullanılmaktadır.

CERN'e ait hızlandırıcı görselleri Şekil 2.5'te verilmiştir.



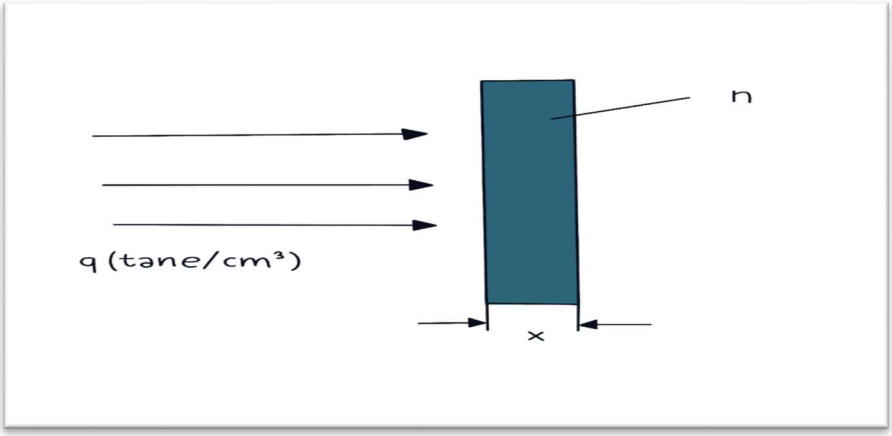
Şekil 2.5. CERN hızlandırıcı görselleri (Şekil a, URL-1; Şekil b, URL-2)

2.2. Reaksiyonlar

2.2.1. Reaksiyon Tesir Kesiti

Bir Reaksiyon meydana gelirken gönderilen parçacık akımı ile olan etkileşim hedef çekirdeklerin her biriyle diğerlerinden bağımsız meydana gelir (Şekil 2.6-7). Hedefe gönderilen parçacıkların hedefteki çekirdekler ile etkileşmesi için hedef çekirdeklerin yarıçapına bağlı olarak belirli bir alana isabet etmesi gerekir. Bir çekirdeğin başka bir çekirdek veya alfa, nötron, proton gibi parçacıklar ile reaksiyona girmesi için Coulomb bariyerinin aşılması gerekir. Birim hacimde ve birim zamanda gerçekleşen bu etkileşime Reaksiyon oranı denir. Reaksiyon oranı; birim hacme gönderilen parçacık miktarına, bu parçacıkların hızına, birim hacimdeki hedef çekirdeğin miktarına ve Tesir kesitine bağlıdır. Tesir Kesiti ise enerjiye bağlı bir parametredir (Akgün, 2014a).

$$R = Nx.Ny.<\sigma v> \tag{2.6}$$



Şekil 2.6. Gelen parçacığın hedef ile ilişkisi

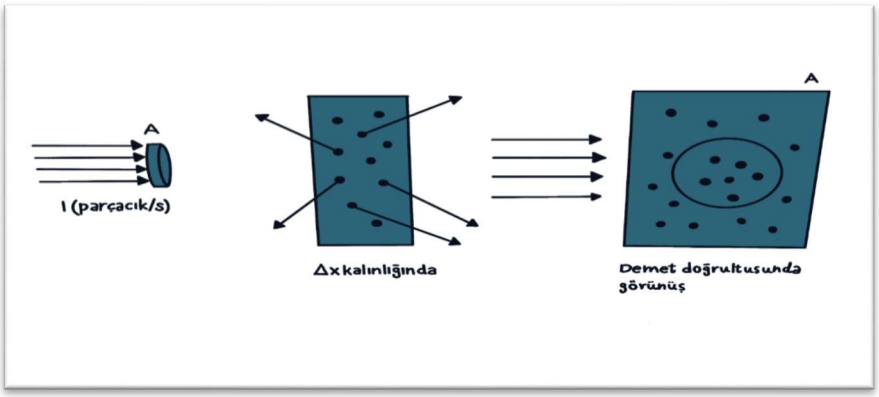
Bu Parametre bir Reaksiyonun meydana gelme olasılığını ifade eder. Tesir kesiti değerini elde etmek için nümerik hesap tek alternatiftir (Akgün,2014b). Yüksek enerjilerde Tesir kesiti ile etkileşim oranı da artar. Düşük enerjilerde ise Coulomb bariyerini aşma ihtimali düşük olduğu için kuantum tünelleme olasılığı tesir kesitinin hesaplanmasında rol oynar ve reaksiyonun hızı bu parametreler doğrultusunda değişir. Coulomb bariyerinin aşılma ihtimali;

$$Pe^{-2G} \tag{2.7}$$

İle verilir.

$$G\frac{Z_1.Z_2.e^2}{4\pi\epsilon_0}\frac{\pi}{v\hbar} \tag{2.8}$$

Burada Z_1 ve Z_2 değerleri çarpışan parçacıkların proton sayıları, $\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}$ değeri 1.44 Mev.fm değerindeki sabit, $\hbar$ plank sabiti ve v ise çekirdeğin hızıdır.



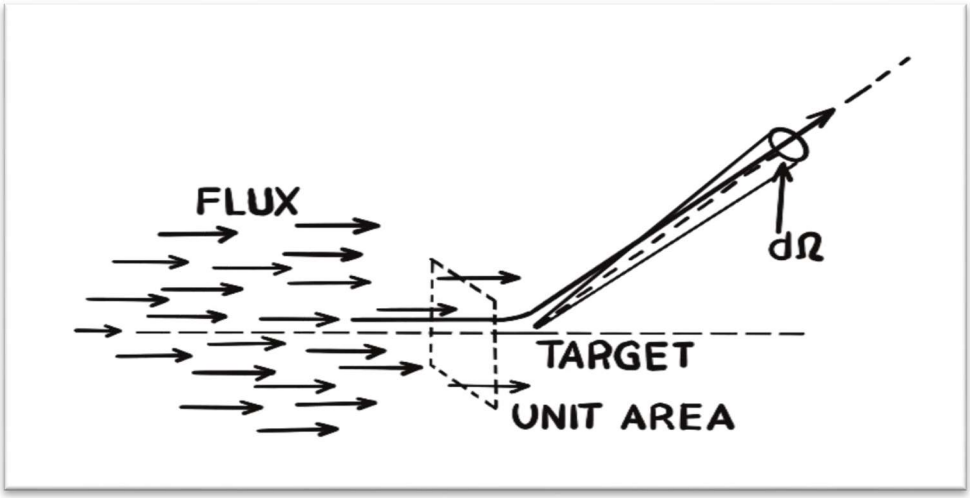
Şekil 2.7. Hedef bölgenin demet doğrultusundaki görünüşü

2.2.2. Diferansiyel Tesir Kesiti

İki parçacığın çarpışması veya etkileşimi genellikle tesir kesiti olarak tanımlanır. Bu miktar esasen bir reaksiyonun meydana gelme olasılığının bir ölçüsünü verir ve parçacıklar arasındaki temel etkileşimin şekli biliniyorsa hesaplanabilir. Resmi olarak, enine kesit aşağıdaki şekilde tanımlanır. Şekil 2.8'de gösterildiği gibi bir hedef parçacık üzerine gelen bir parçacık demetini düşünün. Işının hedeften çok daha geniş olduğunu ve ışındaki parçacıkların uzay ve zamanda düzgün bir şekilde dağıldığını varsayın. Daha sonra birim zamanda birim alan başına Fincident parçacıklarının akışından bahsedebiliriz. Şimdi birim zaman başına katı açısı $d\Omega$ 'ya saçılan parçacıkların sayısına bakın. Etki parametrelerinin rastgeleliği nedeniyle, bu sayı farklı sonlu ölçüm süreleri boyunca dalgalanacaktır. Bununla birlikte, birçok sonlu ölçüm periyodunun ortalamasını alırsak, bu sayı sabit bir $dN_s\ d\Omega$ 'ya yönelecektir, burada Ns birim zaman başına saçılan ortalama sayıdır. Diferansiyel kesit daha sonra oran olarak tanımlanır.

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(E,\Omega) = \frac{1}{F}\frac{dN_S}{d\Omega} \tag{2.9}$$

Yani, $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ birim akı F başına birim zamanda $d\Omega$ 'ya saçılan parçacıkların ortalama fraksiyonudur. Tek bir kuantum mekanik parçacık açısından, bu, $d\Omega$ açısındaki saçılmış olasılık akımının hedefin önündeki bir birim alandan geçen toplam olay olasılığına bölümü olarak yeniden formüle edilebilir.



Şekil 2.8. Saçılan parçacıklar için tesir kesiti gösterimi

F'nin boyutları nedeniyle, $d\sigma$ 'nın alan boyutlarına sahip olduğuna dikkat edin; bu, $d\sigma$ 'nın ışını kesen hedefin geometrik enine kesit alanı olarak sezgisel olarak yorumlanmasına yol açar. Bu alandaki akı olayının bu kısmı o zaman açık bir şekilde etkileşime girerken, eksik olan tüm o da olmaz. Ancak bu sadece görsel bir yardımdır ve hiçbir şekilde hedefin fiziksel boyutlarının gerçek bir ölçüsü olarak alınmamalıdır. Genel olarak, $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ 'nın değeri, reaksiyonun enerjisine ve parçacığın saçılma açısına göre değişecektir.

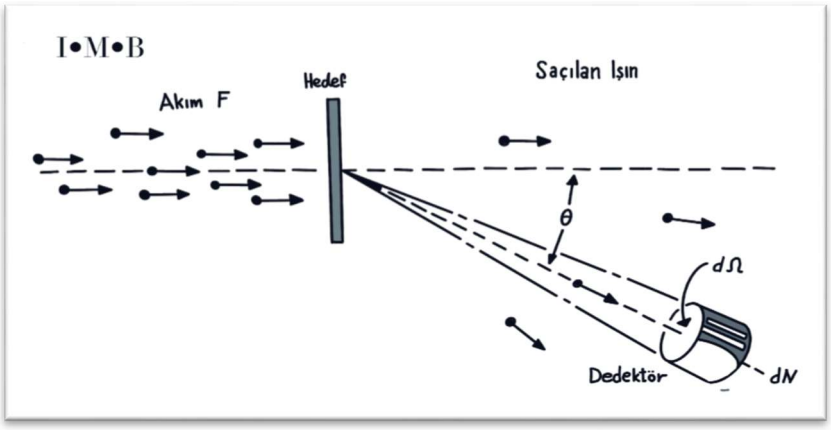
$\frac{d\sigma}{d\Omega}$' nin bütün katı açılar üzerindeki integrali olarak tanımlanan bir E enerjisinde herhangi bir saçılma için toplam bir tesir kesiti hesaplayabiliriz (Leo, W. R., 2012a).

$$\sigma(E) = \int d\Omega \frac{d\sigma}{d\Omega} \tag{2.10}$$

2.2.3. Katı Açı

Parçacıkların etkileşimlerinde etkileşmenin fiziksel doğasına bağlı olarak bazı yönelimler gerçekleşmektedir. Bu eylemler her zaman homojen olmak zorunda değillerdir. Bir dedektör ve gelen akım demetinin etkileşimini düşünürsek. Gelen I_0 akım demeti içindeki

parçacıklara mermi çekirdek ve etkileşime maruz kalan numune çekirdeklere ise hedef çekirdek denir.



Şekil 2.9. Katı açıya bağlı olarak incelenen alan

Saçılma açısına Θ dersek. Hangi Θ açısında ne düzeyde saçılma olduğunu bilmek isteriz. Dedektör ve gelen I_0 akım demeti arasındaki konumsal ilişkiden yola çıkarak, geliş doğrultusu üzerinde herhangi bir noktadan bakıldığında dedektör ile akım demeti arasındaki açı bize saçılma olayının doğasına bağlı olarak ölçülen parçacıklar hakkında bilgi verir. Katı açı dedektör türümüzün ön yüzeyindeki çerçevenin büyüklüğüne ve etkileşmenin olduğu noktaya olan uzaklığa bağlı olarak değişir (Şekil 2.9). 3 boyutlu bir küre yüzeyinden alınan koni alan düşünürsek koninin yüzey alanı A ve dedektörün etkileşim merkezine olan uzaklığını ise r kabul edelim;

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \tag{2.11}$$

Birimi steradyandır. Tam bir küre için $A=4\pi r^2$ ve $\Omega = 4\pi$' olur.

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \frac{drd\Theta(rsin\Theta d\varphi)}{r^2} \tag{2.12}$$

$$\Omega\int_{\varphi 1}^{\varphi 2}\int_{\Theta 1}^{\Theta 2} sin\Theta d\Theta d\varphi \tag{2.13}$$

Elde edilir. Ölçülen değer zaman (t), parçacık akısı I_0 ve θ açısı ile orantılıdır. Görüldüğü üzere dedektöre gelen parçacıklar hakkında bilgi veren değişkenler tesir kesiti değeri dışında fiziksel parametre içermez. Etkileşimin fiziksel doğası hakkında bilgi sadece tesir kesiti parametresine aittir.

2.3. Simülasyon

Simülasyon, doğa yasaları baz alınarak bilgisayarlar başta olmak üzere elektronik sistemlerin algoritmaları aracılığıyla tasarlanan ve bu sistemlerde yürütülen programlardır. Bu tarz bir sistem içerisindeki nesnelerin birbiri ile veya çevreyle olan ilişkileri, istatiksel metotlar aracılığıyla taklit edilir. Taklit edilmek istenilen davranış sistem içerisinde dinamik olarak gözlemlenir ve tahmin çıktıları elde edilmeye çalışılır. Simülasyonlar doğru istatistiksel modellemeler ile tasarlanıp uygulanır ise, test edilen süreçler hakkında daha detaylı sonuçlar elde etmemizi sağlar. Simüle edilen davranış ihmal edilebilecek ölçüde hata oranı taşıyabilir. Bu hata oranı, simülasyonun istatistiğe bağlı olarak güncellenen dinamik yapısı sebebiyle ortaya çıkar.

İyi bir simülasyon; amacı doğrultusunda kullanıcı tarafından denetiminin ve yönetiminin kolay, model değişikliği ve güncelleştirme çalışmalarını destekler nitelikte olmalıdır. Basit bir şekilde başlayıp gerekirse giderek karmaşıklaşmalı yani evrimsel yapıya sahip olmalıdır. Simülasyon, sistemi gerçek zaman aralığı referans alınarak, test süresinde daraltma ve genişletme yapabilirken, sürece bağlı koşullar ve yeni durumlar altında sistemin belirlenen davranışı gösterip göstermeyeceğini inceleyebilir. Uygun matematik modeller ile analitik çözümler belirlenip simülasyon modeli kurulduktan sonra çözümlerin doğruluğunu kanıtlamak üzere sistemin farklı durumlarının incelenmesi için istenen süre kadar kullanılabilir.

Simülasyon modellenirken temelde aşağıdaki süreçler izlenir.

1. Tasarlanmak istenen sistem tanımlanır.
2. Sistemin davranışı formüller ile modellenir.
3. Modelde kullanılacak veriler toplanır.
4. Formüller, bilgisayar programı için uygun algoritmalara dönüştürülür.
5. Elde edilen modelin geçerliliği kontrol edilir.
6. İlk testler yapılarak duyarlılık analiz edilir.
7. Eğer sistem doğru sonuç veriyorsa uygulamaya geçilir veya geçerlilik kontrolüne geri dönülür.

Simülasyonun dezavantajlarına bakarsak eğer, farklı olan sistemler için ayrı ayrı yazılımlar yapılmalıdır.

2.3.1. Simülasyon Modellerinin Genel Özellikleri

2.3.2. Fonksiyonel Özellik

Deterministik özellik; Gerçek bir modeldir. Sistemin simülasyon sonucu her bir tekrar için aynıdır.

Stokastik özellik; Gelişigüzel bir yapıya sahip bir modeldir. Simülasyon sonucu her bir tekrar çalışmada aynı olmaz.

Bu çalışmamızda oluşturduğumuz simülasyon, stokastik özellik taşır. Simülasyondaki bazı temel parametreleri Gaussian dağılımı kullanarak oluşturduk. Bu sebeple de çıkan değerler her zaman aynı olmamakta, belirli bir ortalama değer çevresinde üretilmektedir. Bu sayede simülasyondaki çıktıların çeşitliliği sağlanmıştır.

2.3.3. Zamana Bağlılık

Statik özellik; Zamana bağlı olmayan bir modeldir. Özellikle belirli bir zaman dilimi sonra gerçekleşen olayın doğrudan incelenmesi durumlarında zaman parametresi döngüsel değil sonuç odaklı olacak şekilde algoritmaya dahil edilir.

Dinamik özellik; bu model, zamana bağlıdır. Gözlem süresince zaman aralıklarında farklılık gösterir. Genelde bizim simülasyon modellerimiz benzeri örneklerde görülebileceği üzere, zaman içerisinde değişen davranış incelenirken kullanılır. Belirlenen zaman aralığında davranış düzenli olarak yeniden gözlemlenir.

2.3.4. Giriş Verisi

Simülasyonlar dinamik modeller olduğu için belirsizlik faktörleri rastgele üretilen sayılar üzerinden uygulanır. Rastgele sayıların üretilmesi simülasyonun ilk adımıdır. Üretilen bu rastgele sayıların üzerinden elde edilen istatistiki veriler ve bunlara ait grafikler yardımı ile modellenen davranıştaki değişim, geometrik ve analitik olarak detaylı şekilde

incelenme fırsatı bulur. Sistem karmaşıklaştıkça simülasyon modellerinin analitik yaklaşımlar karşısındaki belirgin üstünlüğü belirgin hale gelir.

2.3.5. Rastgele Sayı Üreticiler

Rastgele sayılar mekanik veya elektronik ortamlarda üretilebilir,

```
let canvas = document.getElementById("canvas");
let context = canvas.getContext("2d");

let n=100;
for(let i =0; i<=n;i++){
X=Math.random()*500; //width
Y=Math.random()*500;//height
context.fillRect(Y,X,5,5);
}
```

Şekil 2.10. Sözde rastsal değerler üreten Javascript Kodu

Yukarıda Html Canvas API üzerinde çizilen bir alanda rastgele dağılımı yapılacak noktaları veren kod bloğu yer almaktadır. Burada elde edilen noktalar aşağıdaki Şekil 2.10'da görüleceği üzere belirli kurallara bağlı oldukları için tamamen rastgele değildir. Tamamen rastgele bir dağılım elde etmek için istatistiksel yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Bilgisayarlar determinist yaklaşıma sahip cihazlar olduğu için üretilen değişkenlerin istatistiksel yaklaşım kullanmadan tamamen rastgele olması beklenemez.



Şekil 2.11. Sözde rastsal değerler ile elde edilen örnek desen

Şekil 2.11'de gösterilen sözde rastgele değişkenleri simülasyonumuzda normal dağılım formuna dönüştürmek için Monte-Carlo ve Box-Muller metotları uygulandı. Gauss dağılımı olarak bilinen Normal dağılım; esasen bir veri setinin ortalama değer etrafında standart sapmaya bağlı olarak nasıl dağıldığını gösteren dağılım türüdür.

2.3.6. Monte Carlo Metodu

Monte Carlo Yöntemi veya Simülasyonu, belirsizliği olan koşullar altında, yüksek doğruluk oranına sahip kararlar verebilmemiz için kullanılan matematiksel bir tekniktir. Ortaya çıkışı 1600'lü yıllara kadar dayanmaktadır. Jacop Bernoulli, 1687 yılında İsviçre'nin Basel kentinde matematik profesörü olarak çalışmaya başladı. 1689 yılında Jacob, Monte Carlo'nun dayanağı olan büyük sayılar yasasının orijinal ifadesini üretti. Oysaki Jacob'ın bazı keşif testleri yapmış olması gerekirken, yasanın o sırada karmaşık fenomenlerin beklentilerini tahmin etmek için kapsamlı bir şekilde kullanılmadığı görüldü. Kalkülüs tarihinde, integral terimini bugünkü anlamıyla kullanan ilk kişi Jacob'dı. Ayrıca şu an da Bernoulli denklemi olarak bilinen denklemi ilk çözen o olmuştur, bize Bernoulli sayılarını verdi ve olasılığı sadece bir kavram olarak değil, bir nicelik olarak tanıttı (Leo, W. R., 2012b). İtalyan fizikçi Enrico Fermi'nin 1930'ların başında, nötronların yavaşlaması üzerine yaptığı çalışmalarda, Monte Carlo ismi ortaya çıkmadan önce istatistiksel örnekleme yöntemlerini kullandığı pek bilinmez. Fermi'nin öğrencisi ve işbirlikçisi Emilio Segre'ye göre, Fermi, istatistiksel örnekleme yöntemleriyle elde ettikleri, kendileri tarafından bilinmeyen deneysel sonuçlarına ilişkin esrarengiz derecede doğru tahminleriyle Romalı meslektaşlarını büyüledi. Fermi'nin rastgele sayıları üretecek bilgisayarının olmaması ve hesaplamalarını mekanik cihazlarla hatta kafasında yapmak zorunda kalması, Fermi'nin başarısını daha da dikkat çekici kılıyor. Bununla birlikte, Fermi bu Monte Carlo hesaplamalarının sonuçlarını hiçbir zaman yayınlamadı ve sonuç olarak, Monte Carlo'nun tarihi kayıtlarında sıklıkla ihmal edildi.

Monte Carlo, ancak yirminci yüzyılın ortalarında, dijital bilgisayarların ortaya çıkmasıyla pratik bir analiz tekniği haline geldi. Monte Carlo'nun formalizminin nötronların ve diğer radyasyon parçacıklarının davranışını tahmin etmek için harika bir araç olduğu ortaya çıktı. Nötronlar, nükleer silah yapma çabası nedeniyle yirminci yüzyılın ortalarında ilgi gördü. 20 yıl sonra uzay programı bilgisayar ve malzeme araştırmalarına nasıl büyük bir

ivme kazandırdıysa, nükleer silah programı da sayısal bir prosedür olarak Monte Carlo yöntemine büyük bir ivme kazandırdı. Aslında, bu metot adını hidrojen bombasını tasarlama ve test etme çabaları sırasında aldı (Chaturvedi ve diğerleri, 2011). Monte carlo simülasyonu John von Neumann, Nicholas Metropolis ve Stanislaw Ulam tarafından, Los Alamos ulusal laboratuvarında atom bombasının zincir reaksiyon olasılığında ve bir başka nükleer silah projesi olan manhattan projesi çalışırlarken ortaya çıktı (Ayyıldız, 2016).

```
function exponential(lambda,time){
   return Math.pow(Math.E,(-1*lambda*time));
}

let n =1e9;
let total=0;

for(let i =0; i<=n; i++){
    let x= Math.random();
   ((exponential(lambda,time))>x) ? total+=1 : 0;
}
console.log(`Monte Carlo : ${(total/n)}`);
```

Şekil 2.12. Exponential değerler için Monte Carlo test kodu

Yazılı kodda (Şekil 2.12) rastgele sayılar üretilerek Monte Carlo metodu aracılığıyla exponential değerler elde edilerek başlangıç testleri yapılmıştır. Test edilen ilk durum radyoaktivitenin temelinde yer alan karakteristik yarı ömür değerine bağlı olarak exponential değerlerin [0,1] aralığında değişimidir (Şekil 2.13).

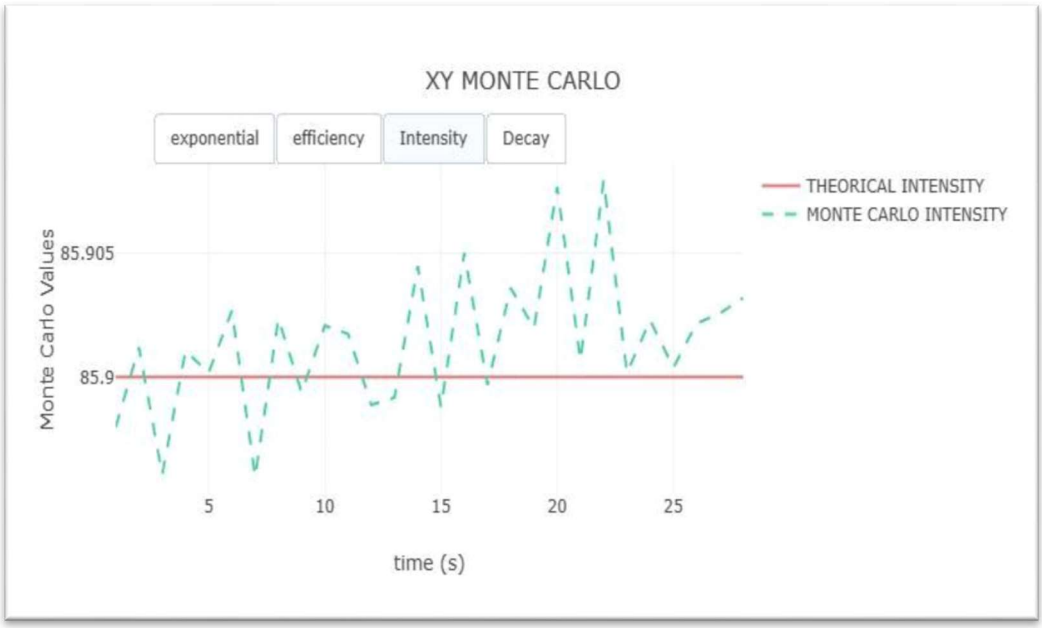


Şekil 2.13. Rastgele seçilmiş bir exponantial değerin dağılım deseni

İkinci durum; Efficiency (Şekil 2.14) ,Intensity (Şekil 2.15) gibi değişkenlerin rastgele üretimindeki dağılımıdır.

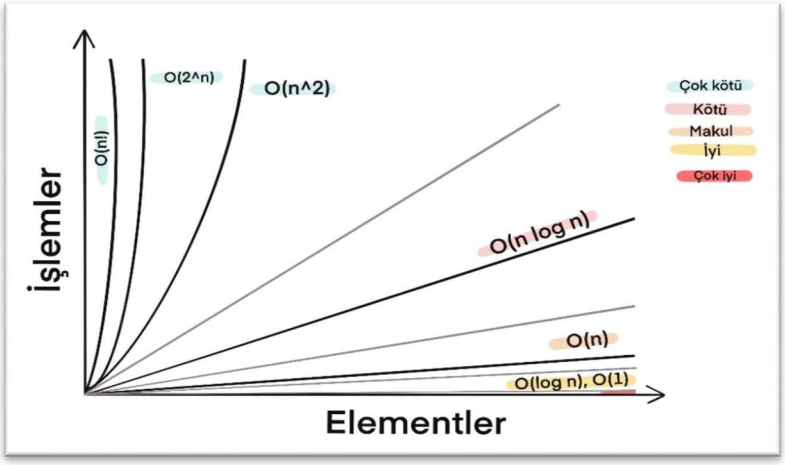


Şekil 2.14. Efficiency için Monte Carlo deseni



Şekil 2.15. Intensity için Monte Carlo deseni

Üçüncü durum ise bu değişim esnasında yazılan algoritmanın performans değeridir.



Şekil 2.16. Büyük O notasyonu karmaşıklık grafiği (URL-3)

Monte Carlo metodu gibi n sayıda rastgele değerler üreten algoritmalar O(n) karmaşıklığa sahiplerdir. Rastgele sayı değerini belirten n ifadesi sonsuza yaklaştıkça sistemin karmaşıklığı grafikteki ölçü oranında artmaktadır (Şekil 2.16). Bu sebeple Monte Carlo metodu hesaplaması gereken hassasiyet ölçüsünde teknolojik alt yapıya ihtiyaç duyar.

2.3.7. Box-Müller Metodu

Rastgele Sayıların üretimindeki temel sorundan bahsetmiştik. Bu durumu aşmak için istatistiksel yöntemler kullanmak gerekiyor ve bu çalışmada standart normal dağılım deseni yakalamak için Box Muller Algoritması kullanılmıştır.

Rastgele üretilen x değerleri N(0,1) aralığında asimptotik dağılan değer verir. Hesaplanma için ilk olarak Denklem (2.14)'da ki eşitlik belirtilir,

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx e^{-\frac{x^2}{2}} = \sqrt{2\pi} \tag{2.14}$$

Bu eşitlikten yola çıkarak x=rcosθ ve y=rsinθ dönüşümleri yapılarak elde edilen eşitlikler kullanıldığında yeni fonksiyonun çözümü yapıldığında yeni denklem, Denklem (2.15) haline gelir.

$$U(R)\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^{2\pi} d\theta \int_0^R drre^{\frac{r^2}{2}} = \int_0^{\frac{R^2}{2}} due^{-u} = 1 - e^{\frac{R^2}{2}} \tag{2.15}$$

Denklem (2.10)'in çözümü yapıldığında, x_1, x_2 kökleri elde edilir.

$x_1 = \sqrt{-2\log(s)}\cos(2\pi t)$, $x_1 = \sqrt{-2\log(s)}\sin(2\pi t)$

s : = 1 - p ∈ [0,1] ve t ∈ [0,1] olduğundan, bunun anlamı [0,1] noktasındaki dağılımda N(0,1) de rastgele değişkenin oluşturduğu Gauss dağılım şemasıdır. Buna Box-Müller yöntemi denir.

```
* psudo:
 * _dagitimDegerleri = [];
uretilenDegerler = 10e8;

fonksiyon gaussRastgele() {
    buUret = doğru;
    deger0 = 0.0;
    deger1 = 0.0;

    eğer (buUret) {
        x1 = 0.0;
        x2 = 0.0;
        w = 0.0;

        yap {
            // Math.random(), [0, 1) aralığında değer verir ancak
            // Polar Form, [-1, 1] aralığını bekler.
            x1 = (2.0 * Math.random()) - 1.0;
            x2 = (2.0 * Math.random()) - 1.0;
            w = (x1 * x1) + (x2 * x2);
        } while (w >= 1.0);

        w = Math.sqrt((-2.0 * Math.log(w)) / w);

        deger0 = x1 * w;
        deger1 = x2 * w;

        sonuc = deger0;
    } başkaDurumda {
        sonuc = deger1;
    }

    buUret = !buUret;
    geriDöndür sonuc;
}
```

Şekil 2.17. Box-Muller algoritmasının sözde gösterimi

1. İki rastgele sayı x_1, x_2 [-1,1] aralığında üretilir.

2. Bu iki sayının kareleri toplamı hesaplanır ve w olarak adlandırılır.

3. *w* değeri 0'dan büyükse veya eşitse, Polar Form kullanılarak yeni bir çift rastgele sayı üretilir.

Bu aşamada;

$$w = \sqrt{-2lnw/w} \tag{2.16}$$

Üretilen iki rastgele sayı $değer_0$=w*x_1 ve $değer_1$=w*x_2 şeklinde dönüştürülür.

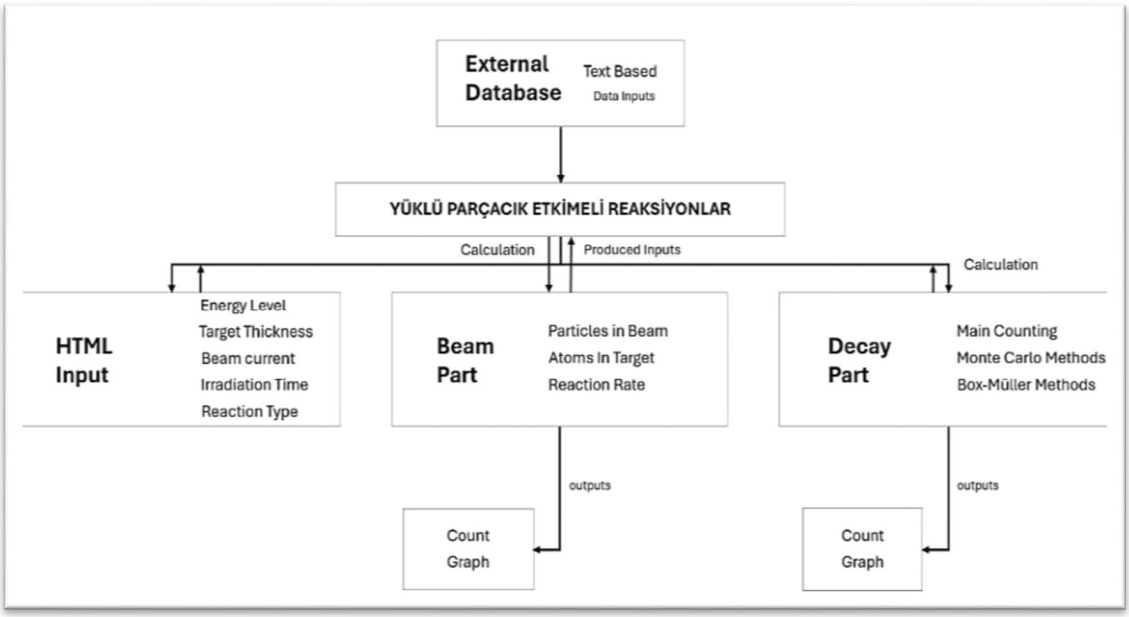
4. Eğer koşul true ise, dönüştürülen x_1 değeri $değer_0$ olarak atanır, değilse $değer_1$ olarak atanır.

5. Koşul değeri tersine çevrilir (negatif alınır), yani true ise false, false ise true olur.

6. Son olarak, ilgili değer; $değer_0$ veya $değer_1$ olarak döndürülür.

Bu sayede Math.random() fonskiyonu aracılığı ile sözde rastgele olarak üretilen değerler normal dağılım formuna dönüştürülür (Şekil 2.17).

2.3.8. Simülasyon Programının Algoritması

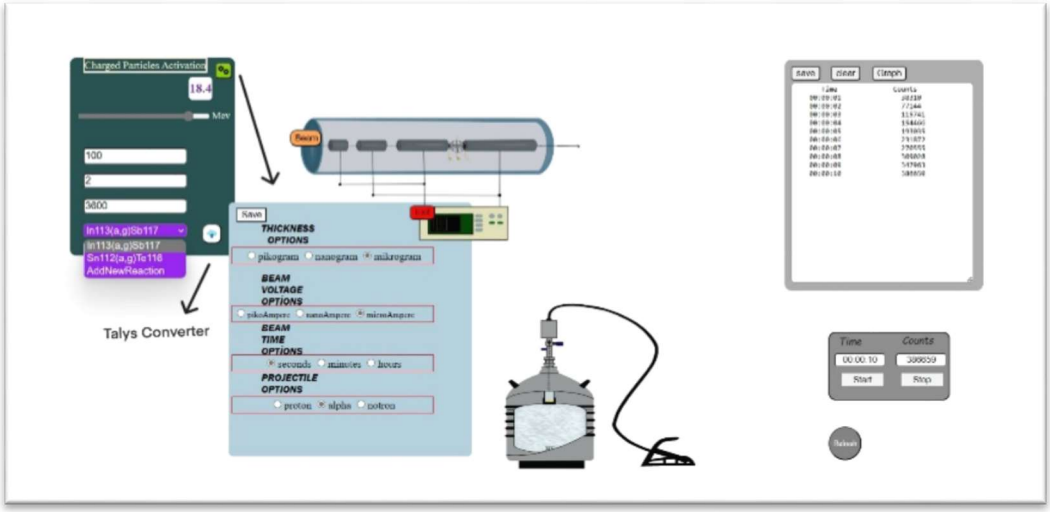


Şekil 2.18. Simülasyon Programının Algoritması

Şekil 2.18'da simülasyon sisteminin temel çalışma düzenine aittir.

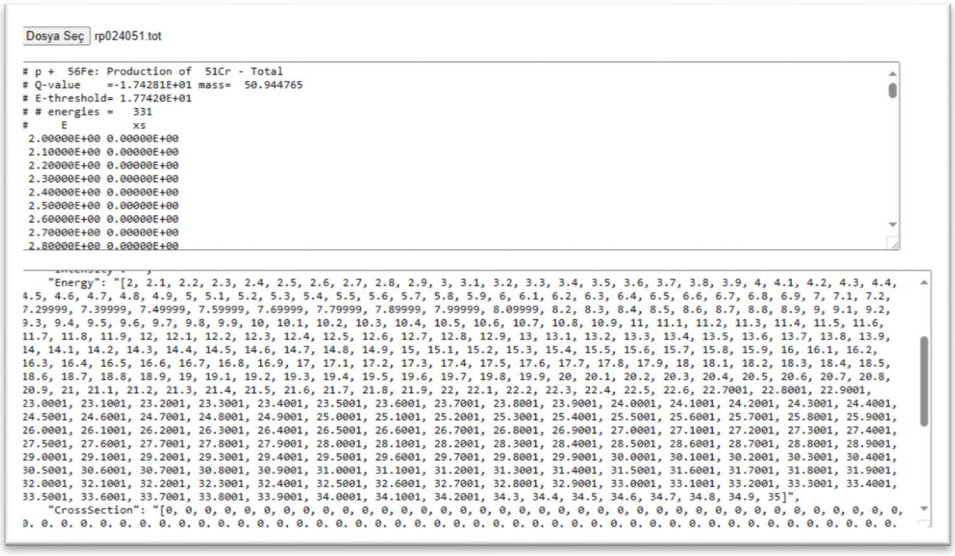
Metin belgesi formatında girilen verilerin aktivasyon metodu aşamaları yer almaktadır. Işınlama ve sayım aşamaları olarak ayrılan bölümler kullanıcının aktivasyonu daha rahat gözlemleyebilmesi içindir.

2.3.9. Kullanıcı Arayüzü



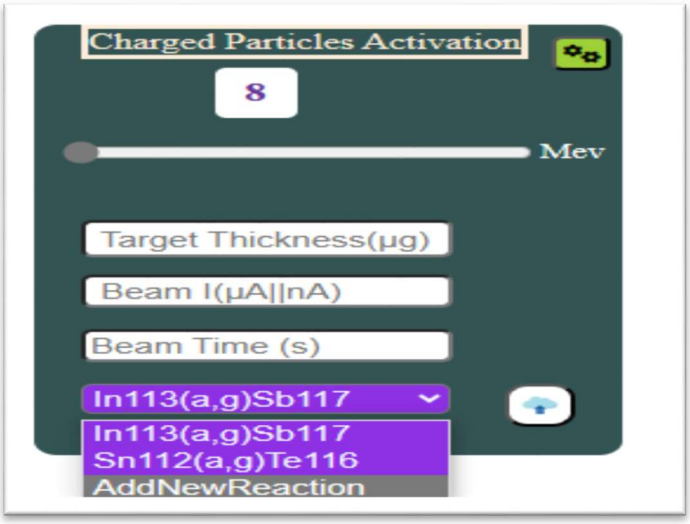
Şekil 2.19. Simülasyonun arayüzü

Program (Şekil 2.19) Html, Css, JavaScript kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışma Sistemi şu an için istemci tarafında (Client Side) gerçekleşmektedir. Server tarafında, dosyaların istemci tarafına gönderilmesi haricinde bir işlem yapılmamaktadır. Kullanıcı Talys programı aracılığı ile elde ettiği veri setini (Şekil 2.20) Programa eklemek için öncelikle örnek reaksiyon rp024051.tot isimli Talys çıktısını program aracılığı ile bizim belirlediğimiz Json formatı yapısındaki veri girdisine eksik değerleri eklemek koşuluyla dönüştürür.



Şekil 2.20. Talys Verisi Dönüştürücü

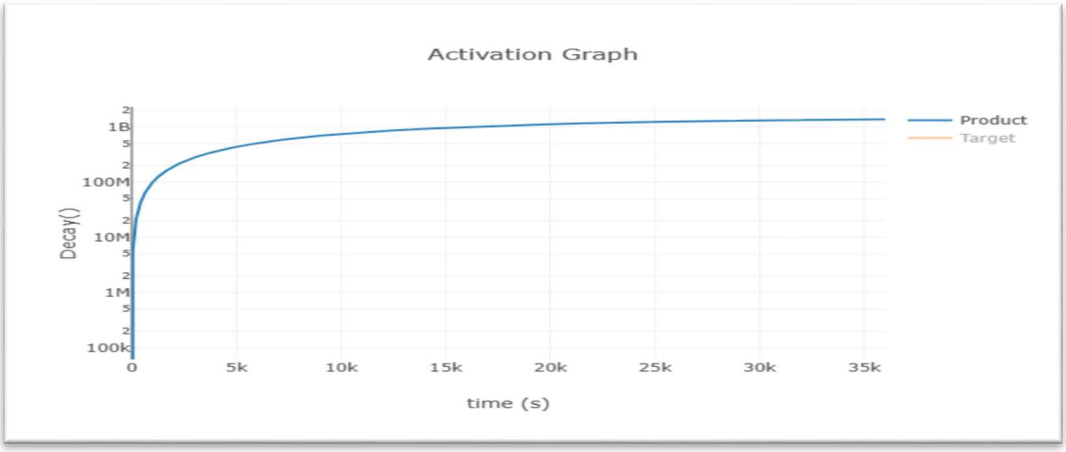
Daha sonra reaksiyon türünü seçmek amacıyla oluşturulmuş menüden yeni reaksiyon ekle diyerek Json (JavaScript Object Notation) formatında hazırlamış olduğu veri setini sisteme yükler.



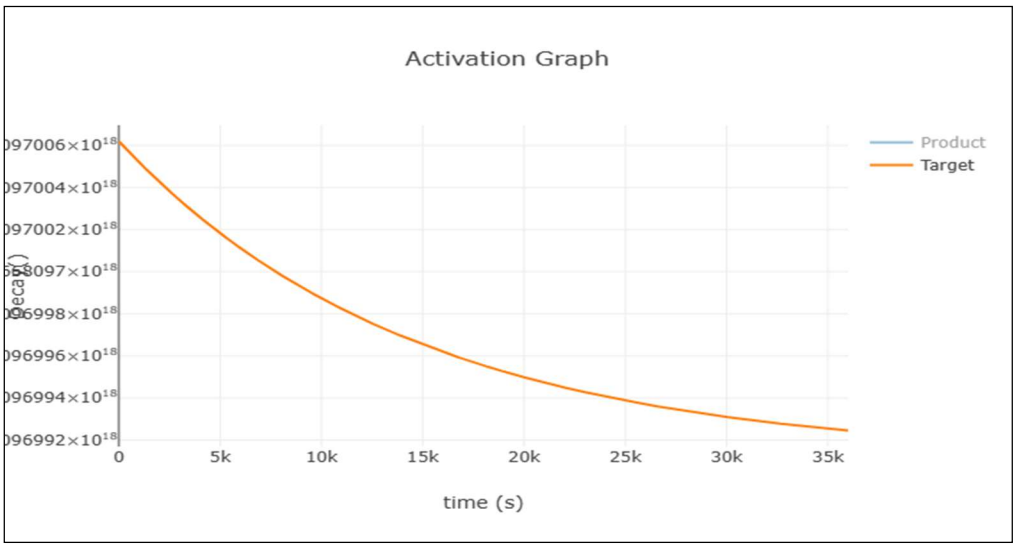
Şekil 2.21. Girdi alanı

Yüklenen reaksiyon için seçim alanı işaretlendikten sonra Enerji değeri seçilir ve Hedef numune için kalınlık, Akım demetinin şiddeti ve ışınlama süresi değerleri girilir (Şekil 2.21).

Beam butonu aracılığı ile numune, simülasyonda birkaç saniyelik süre dilimi içerisinde ışınlanır. Bu aşamada kullanıcı isterse Aktivasyon metodu grafiğinde (Şekil 2.22-23) belirtilen Aktivasyon aşaması (Activation progress) değişimini inceleyebilir.



Şekil 2.22. Ürün çekirdeğin aktivasyon esnasındaki artış grafiği



Şekil 2.23. Hedef çekirdeğin aktivasyon süresince azalış grafiği

Start butonu aracılığıyla aktivasyon sonucunda oluşan ürün çekirdekler Dedektör ile sayım yapılmak üzere Bozunma aşaması (Decaying progress) olarak verilen aşamaya geçilir ve saniye başına sayım işlemi yapılarak istenilen süre boyunca bozunma değerleri yazdırılır. Bu aşamada eğer kullanıcı bozunma eğrisini (Şekil 2.24) görmek isterse tekrar grafik butonu aracılığı ile şemayı inceleyebilir.



Şekil 2.24. Ürün çekirdeğin aktivite grafiği

3. METOT VE MATERYAL

3.1.Aktivasyon Metodu

İlk defa 1936 yılında George Charles de Hevesy ve Hilde Levi tarafından, bir İtriyum (89Y) örneğinde Disprosiyum (162Dy) miktarının belirlenmesi ve numunedeki Disprosiyum, bir Radyum-Berilyum kaynağından gelen nötronlar ile bombardıman edildiğinde radyoaktif hale gelmesi sonucu aktivasyon analizi uygulanmaya başlanmıştır (Al-Buriahi ve diğerleri, 2016a). İçerisinde element sayısı belli olmayan bir numune, Aktivasyon metodu ile yüksek duyarlılık ile incelenebilir. İnceleme sonucunda numune hakkında nicel ve nitel sonuçlar elde edilir. Numunenin yarı ömrü kararlı veya radyoaktif durumda olabilir. Aktivasyon metodu, bir hedef numunenin uygun parçacıklar ile (alfa gama nötron) ışınlanarak elde edilen yeni ürün çekirdeklerin bozunumunu ölçmeye yarar. Aktivasyon metodu temelde iki adımda gerçekleşir. Bunlar ışınlama ve sayımdır.

3.2. Işınlama

Işınlama sürecinde hedef olarak belirlenmiş numune yapısı incelenir. Eğer gerekli ise buharlaştırma (evaporation) veya silindirden geçirerek inceltme (Rolling) gibi yöntemler kullanılarak numunenin kalınlığı belirlenir. Daha sonra numunenin yapısına uygun olarak parçacık türü ve akım demetinin şiddeti belirlenir. Kalınlık, akım şiddeti ve gönderilen parçacık göz önüne alınarak belirlenen süre boyunca ışınlama olayı gerçekleşir.

3.3. Sayım

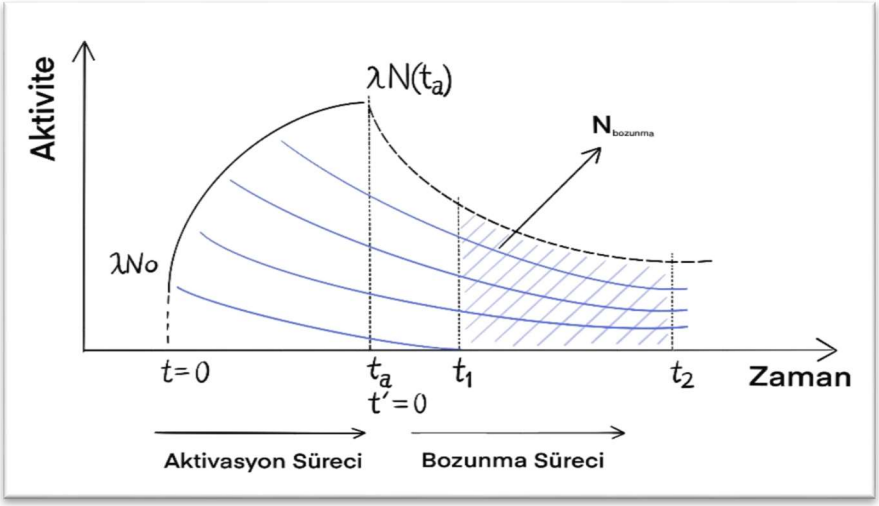
Sayım işlemi ışınlanan hedef numune sonucu ortaya çıkan yeni ürün çekirdeklerin sayımıdır. Bu süreçte dedektör olarak Hyper-Pure Germanium (yüksek saflıkta germanyum) dedektörü kullanılır. Bu dedektör kullanılarak Düşük olan tesir kesitleri, ürün çekirdeklerin uzun yarı ömürleri veya uyumsuz γ-dallanma oranlarını dengelenir. Düşük arka plan ışımasına sahip olan Hyper-Pure Germanium dedektörü yüksek enerji çözünürlüklü bir gama spektroskopisi görevi görür. HPGe dedektörü yarı-iletken maddelerden yapılmış bir dedektördür (Al-Buriahi ve diğerleri, 2016b). Aktivasyon sonucu hedef bölgede üretilen ürün çekirdek sayısı Denklem (3.1c)'deki şekilde hesaplanır,

$$N_{Bozunum} = \frac{N_{sayım} c}{I_\gamma L T \varepsilon} \tag{3.1a}$$

$$N_{Bozunum} = N_A(t_a)(e^{-\lambda_B t_1} - e^{-\lambda_B t_2}) \tag{3.1b}$$

$$N_A(t_a) = \frac{\sigma n_T \varphi}{\lambda_A}\left(1 - e^{-\lambda_A t_a}\right) + N_{A_0} e^{-\lambda_A t_a} \tag{3.1c}$$

Burada, tesir kesiti değeri bilinmemektedir. Ayrıca simülasyon sürecinde deney tekrarları yapılırken Intensity, Efficiency ve Activity değerleri gauss dağılımı göstermesi için ortalama değerleri etrafında belirli bir standart sapma değeri ile rastgele değerler alarak değişkenlik göstermektedir. Aktivasyon sonucunda üretilen ürün çekirdekler (3.1b) de gösterildiği gibi radyoaktif bozunma yasası gereği bozunma yapacaklardır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Aktivasyon metodu için genel grafik

Fiziksel hızlandırıcılarda reaksiyon gerçekleştikten sonra hızlandırıcı içerisindeki hedef numunenin sayım işlemi kısmına geçmesi için belirli hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Hazırlık süresince hedef bölgede reaksiyon sonucu üretilen ürün çekirdeklerin aktivitesi ölçülemediğinden $t_1 - t_a$ bölgesinde gerçekleşen enerji değerleri sayım işlemine dahil edilmez. Ancak simülasyonda bu hazırlık süreci gerekmediğinden $t_1 = t_a$ durumundan itibaren sayım işlemi gerçekleşmektedir. İlerleyen zamanlarda yapılacak olan güncellemelerde $t_1 - t_a$ arasındaki durum incelenmesi için yeni metotlar geliştirilecektir. Simülasyon sayım değerleri ile tesir kesiti doğrulama aşamaları Şekil 3.2'te gösterilmiştir.

Teste ait veri girdisi aşağıdaki (Şekil 3.2) gibidir.

```
   ReactionName:"In113(a,g)sb117",

"In113" : [
    {

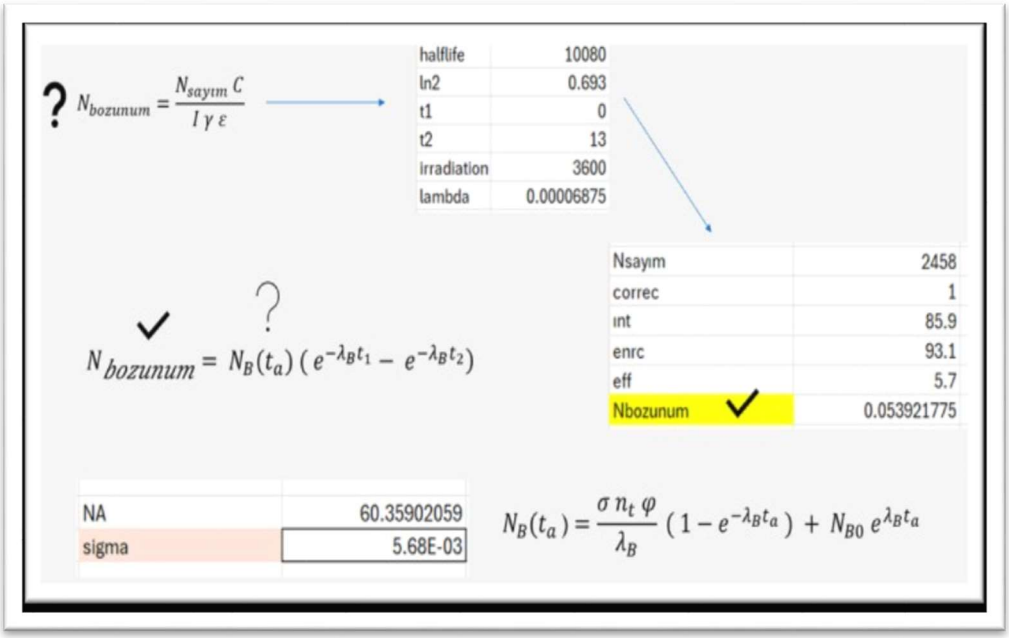
          density: 7.31,
          density_unit: "gr/cm3",
          atomic_mass: 112.9,
          CorrectionFactor:1,
          Encrichment:93.1,
          Efficiency:5.7,

          "Energy": [8.0, 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9, 9.0, 9.1, 9
11.5, 11.6, 11.7, 11.8, 11.9, 12.0, 12.1, 12.2, 12.3, 12.4, 12.5, 12.6, 12.7,
14.9, 15.0, 15.1, 15.2, 15.3, 15.4, 15.5, 15.6, 15.7, 15.8, 15.9, 16.0, 18.1,
          "CrossSection": [0.00246, 0.00327, 0.00432, 0.00568, 7.41e-6,
0.0226, 0.0257, 0.0291, 0.0328, 0.0366, 0.0409, 0.0454, 0.0506, 0.0563,
0.244, 0.264, 0.281, 0.302, 0.319, 0.337, 0.357, 0.377, 0.399, 0.423, 0.44
0.598, 0.596, 0.595, 0.594, 0.59, 0.589, 0.582, 0.577, 0.567, 1.28, 1.24, 1
        }


       ],

 "Sb117" : [{
          Intensity:85.9,
          half_life :10080,
          halflife_unit: "2.8h" ,
          }],
```

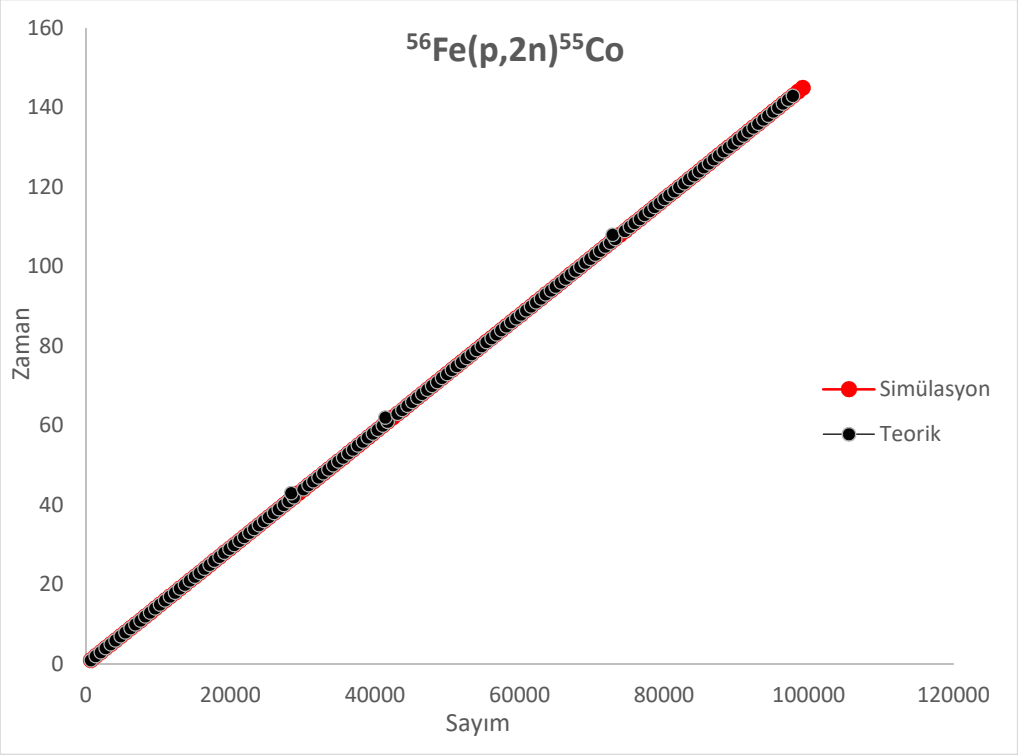
Şekil 3.2. Test veri girdisi



Şekil 3.3. Simülasyon sayım değerleri ile tesir kesiti doğrulama aşamaları

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. $^{56}Fe(p,2n)^{55}Co$ Test Reaksiyonu

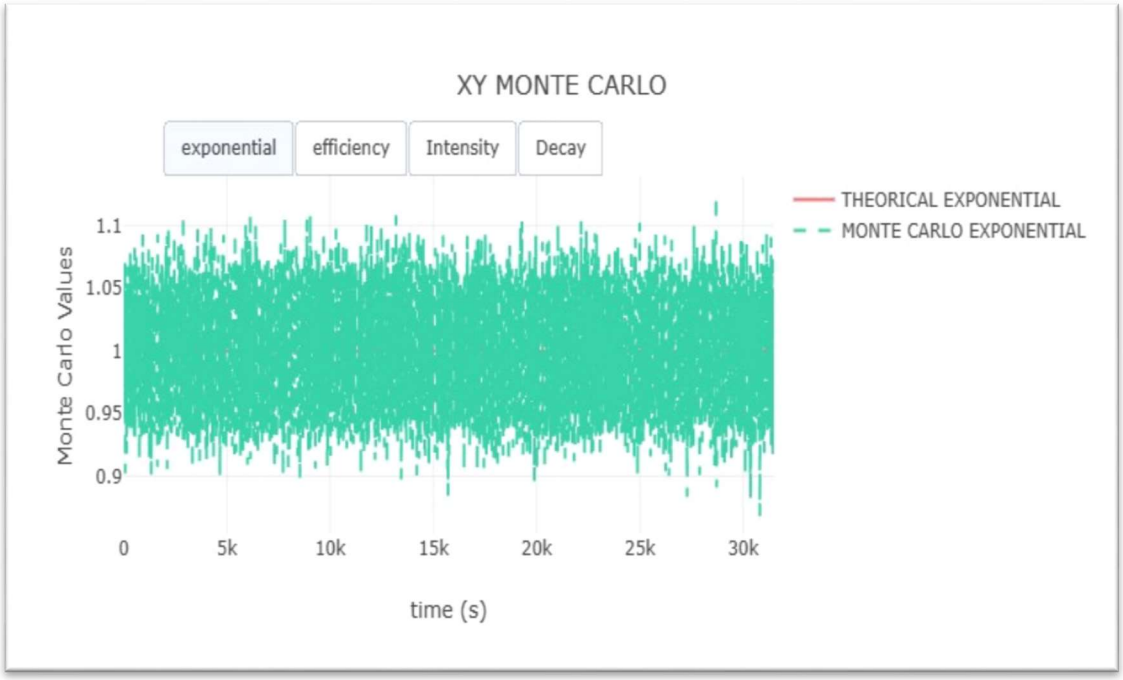


Şekil 4.1. Saniye başına toplam sayım grafiği

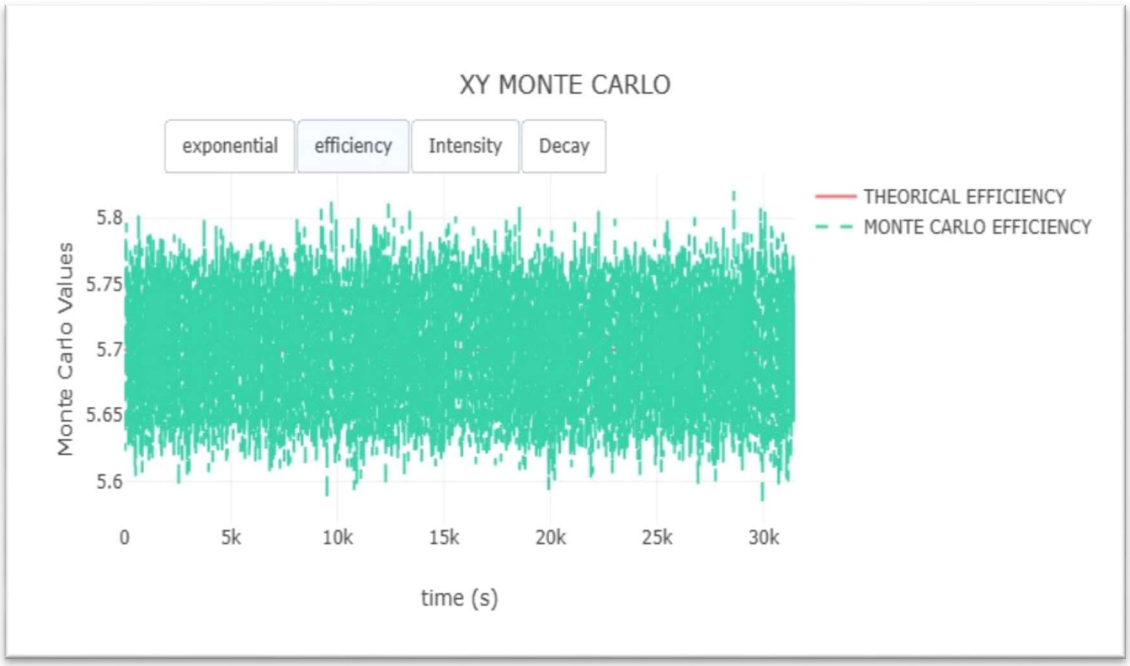
Tablo 4.1. Simülasyon girdi değerleri

Reaction	$^{56}Fe(p,2n)^{55}Co$
Energy Level	15.8 MeV
Beam Curent	0.5 μA
İrradiation Time	600 sec
Target Thickness	100 $\mu g/cm^2$

$^{56}Fe(p,2n)^{55}Co$ reaksiyonu için : Tablo 4.1 değerleri girdi verisi olarak ayarlanarak örnek ölçüm alınmıştır. Sonuçların grafik değerleri şekil 4.1 ile şekil 4.6 arasında gösterilmektedir.



Şekil 4.2. ^{56}Fe-^{55}Co reaksiyonunda exponansiyeli veren grafik



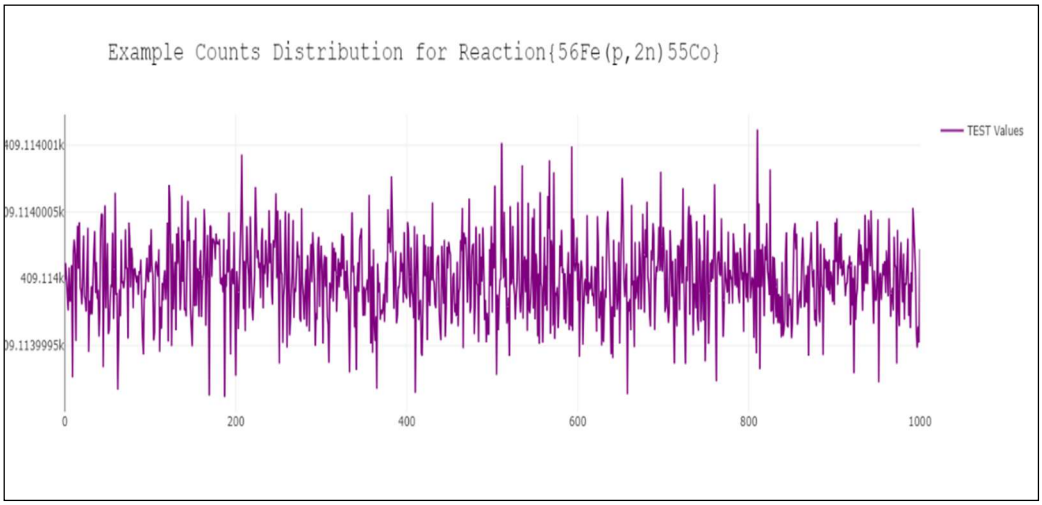
Şekil 4.3. ^{56}Fe-^{55}Co reaksiyonunda efficiency veren grafik



Şekil 4.4. ^{56}Fe-^{55}Co reaksiyonunda intensity veren grafik

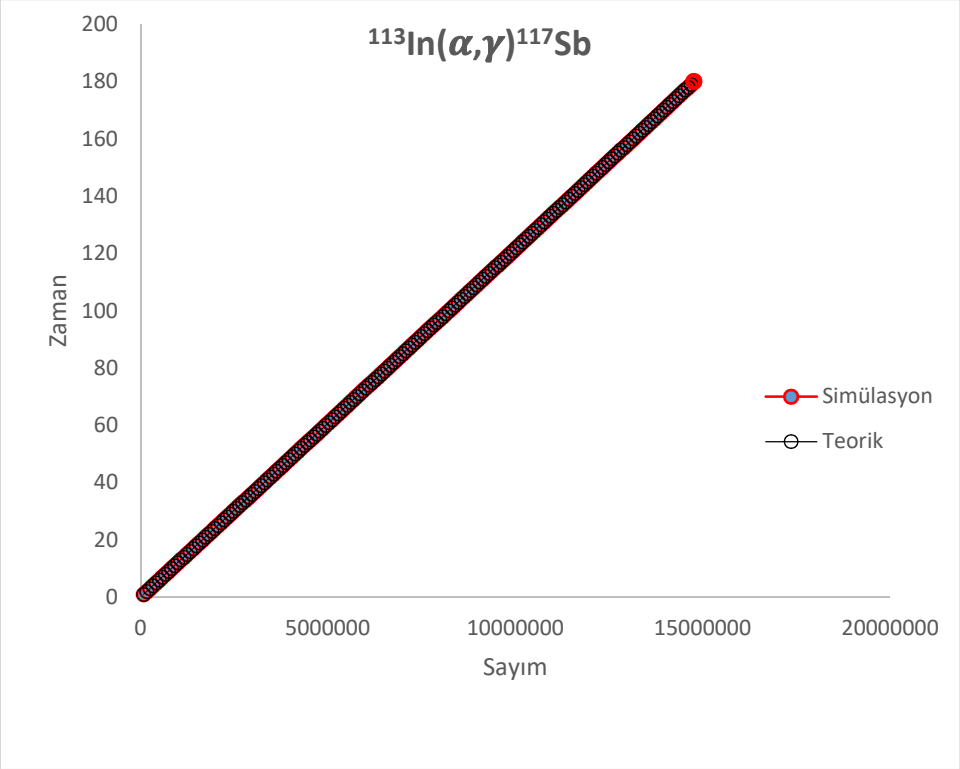


Şekil 4.5. ^{55}Co izotopunun bozunma grafiği



Şekil 4.6. ^{55}Co Count değeri için Box Muller Fonksiyon Testi

4.2. $^{113}In(\alpha,\gamma)^{117}Sb$ Test Reaksiyonu



Şekil 4.7. Saniye başına sayım grafiği

Tablo 4.2. Simülasyon girdi değerleri

Reaction	$^{113}In(\alpha,\gamma)^{117}Sb$
Energy Level	18.2 MeV
Beam Curent	2 μA
İrradiation Time	3600 sec
Target Thickness	200 $\mu g/cm^2$

$^{113}In(\alpha,\gamma)^{117}Sb$ reaksiyonu için : Tablo 4.2 değerleri girdi verisi olarak ayarlanarak test ölçümü alınmıştır. Sonuçların grafik değerleri şekil 4.7 ile şekil 4.12 arasında gösterilmektedir.



Şekil 4.8. ^{113}In-^{117}Sb reaksiyonunda exponansiyeli veren grafik



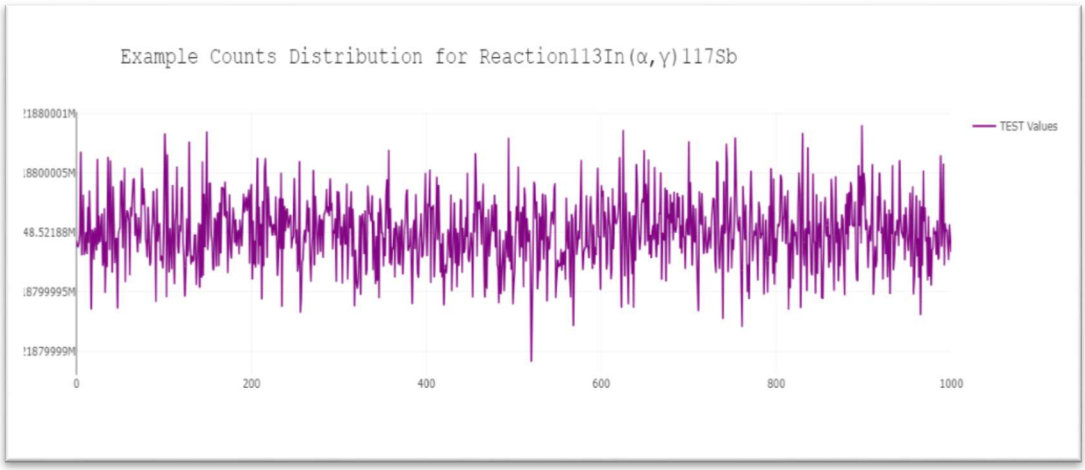
Şekil 4.9. ^{113}In-^{117}Sb reaksiyonunda efficiency veren grafik



Şekil 4.10. ^{113}In-^{117}Sb reaksiyonunda intensity veren grafik



Şekil 4.11. ^{117}Sb izotopunun bozunma grafiği



Şekil 4.12. ^{117}Sb Count değeri için Box Muller Fonksiyon Testi

5.SONUÇ VE YORUM

BAP tarafından desteklenen FYL-2021-2674 no'lu proje kapsamında hazırlanan sanal nükleer fizik laboratuvarı Geiger-Müller dedektörü ile deneyler adlı tezde deney listesi içeriğinde yer alan Aktivasyon metodu ile yüklü parçacık reaksiyon tesir kesiti ölçüm simülasyonu adlı deneyde nükleer reaksiyonların tesir kesit hesaplamalarına dair yapılan çalışmada sonuçlar teorik verilerle uyumlu olarak gözlemlendi. Datalar Talys üzerinden alındı. Datalar simülasyona uygun hale getirilerek Monte Carlo metodu ile test edildi.

Sonraki aşamada LinucLab adı altında kurmuş olduğumuz sistemde web üzerinden tüm deney simülasyonları yayınlanacaktır. Yapmış olduğumuz Parçacık Etkimeli Reaksiyonların Tesir Kesiti Simülasyonunda farklı hızlandırıcı ve dedektör türlerinin eklenmesi ayrıca daha farklı istatistiksel metotlar eklenerek Sanal Laboratuvar sistemimizin yeni deneyler için güncellenme çalışmaları yapılacaktır. Şu an ki mevcut sistem; sentetik veri üretimi, izotop üretimi testleri ve reaksiyon tesir kesitinin incelenmesi ve öğrenilmesi için kullanılabilir.

Deneyler Webgpu standartlarına uygun hale getirilerek 3d formatında yeniden düzenlenecektir.

KAYNAKLAR

Abdelrahim, A.(2013), Monte Carlo Simulations Simulating Radioactivity. Doctoral Dissertation, University of Khartoum,Physics Department, Hartum.

Akgün, B., Ünel, G., Erhan, S., Sekmen, S., Köse, U., & Yıldız, V. (2014), *Meraklısına Parçacık ve Hızlandırıcı Fiziği*. Cern.

Al-Buriahi, M. S., Olarinoye, I. O., Alomairy, S., Kebaili, I., Kaya, R., Arslan, H., & Tonguc, (2021). B. T. Dense and Environment Friendly Bismuth Barium Telluroborate Glasses for Nuclear Protection Applications. Elsevier *Progress in Nuclear Energy*, 137, DOI:10.1016/j.pnucene.2021.103763

Ayyıldız, M. (2016), Yüksek Enerji Fiziğinde Kullanılan Simülasyon Teknikleri. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya

Chaturvedi, S. K., & Dharwadkar, K. A.(2011), Simulation and Visualization Enhanced Engineering Education- Development and Implementation of Virtual Experiments in a Laboratory Course. *Annual Conference and Exposition,* Vancouver, British Columbia.

Cooper, M. (2005). Remote Laboratories in Teaching and Learning—Issues Impinging on Widespread Adoption in Science and Engineering Education*, International Journal of Online Engineering*,1(1). DOI10.3991/ijoe.v1i1.298.

Çivril. H,(2018). Laboratory Applications in Open and Distance Learning, *Journal of Higher Education and Science*, DOI: 10.5961/jhes.2018.246.

Dereli, Ş., Akbıyık, B., Yalçın, C., & Güray, R. T.(2021).Virtual Nuclear Physics Laboratory: Experiment with The Geiger-Müller Detector. *Turkish Physical Society 37th International Physics Congress* , Muğla,Turkiye, 1-5 Eylül 2021.

Dereli, Ş. (2023), Sanal Nükleer Fizik Laboratuvarı: Geiger-Müller Dedektörü ile Deneyler. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 790474.

Dunn, W. L., & Shultis, J. K.(2012) , Exploring Monte Carlo Methods., *Elsevier,* DOI: 10.1016/B978-0-444-51575-9.00002-6.

Gilmore, G.(2008) ,Practical Gamma-Ray Spectroscopy, John Wiley & Sons, Ltd, DOI:10.1002/9780470861981.

Gröber, Sebastian, (2007) Experimenting from a Distance—Remotely Controlled Laboratory (RCL*). European Journal of Physics* ,28,3 ,127, DOI:10.1088/0143-0807/28/3/S12.

Islam,Tofazzal. (2010). Challange and Opportunities for Teaching Laboratory Sciences at a Distance in Developing Country*, Accessible Elements: Teaching Science Online and at a Distance*, AU Press, Athabasca University.

Kaya, R. (2021). Tiroit Doku Eşdeğeri Malzemelerin Foton Etkileşim Özelliklerinin Geant4 ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 686888.

Kaba, A.U. (2012). Uzaktan Fen Eğitiminde Destek Materyal Olarak Sanal Laboratuvar Uygulamalarının Etkililiği. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 312481.

Kennepohl, D. (2010). *Remote Control Teaching Laboratories and Practicals*. In D. Kennepohl,& L. Shaw, (Eds.), *Accessible Elements: Teaching Science Online and at a Distance (pp.167–187)*.Edmonton: Athabasca University Press.

Krane, K. S. (2002), Introductory Nuclear Physics (2nd ed.).Newyork.

Leo, W. R.,(2012) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: a How-to Approach. *Springer Science & Business Media*. DOI:10.1007/978-3-642-57920-2.

Ma, Jing, and Jeffrey V, Nickerson,(2006). Hands-on, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review, *ACM Computing Surveys (CSUR)*.38,3:7.DOI: 10.1145/1132960.1132961.

Meester, Marthie & Kirschner, Paul.(1995).Practical work at the Open University of the Netherlands, *Journal of Science Education and Technology*,4.127-140. DOI:10.1007/BF02214053.

Özkul, A.E.(2003). E-öğrenme ve Mühendislik Eğitimi, Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi. *ELEKTRİK, ELEKTRONİK, BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİKLERİ EĞİTİMİ 1. ULUSAL SEMPOZYUMU.* Ankara, 30 Nisan-2 Mayıs.

Tsoulfanidis, N., & Landsberger, S. (1995), Measurement and Detection of Radiation (2nd ed.). *Taylor & Francis 1101 Vermont Avenue* , N.W. Suite 200 Washington, DC

Taki, R.(2003), Development of HPGE Detector for the Longitudinal Emittance Measurement. Doctoral Dissertation. Michigan State University, Department of Physics and Astronomy.

URL-1 : https://science.howstuffworks.com/science-vs-myth/everyday-myths/cern.htm (Ziyaret tarihi: 7 Kasım 2022).

URL-2 : https://www.ecodibergamo.it/stories/scienza-e-tecnologia/cern-consegnati-magneti-versione-super-lhc-o_1455442_11/ ,(Ziyaret tarihi: 7 Kasım 2022).

URL-3 : https://www.freecodecamp.org/news/big-o-cheat-sheet-time-complexity-chart/, (Ziyaret tarihi: 7 Kasım 2022).

Yalçın, C. (2010). In-113'ün Alfa Yakalama Reaksiyonu ve Nükleer Astrofizikteki Yeri. Doktora Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 275785.

EKLER

Ek-A

Tablo A.1'de Fe izotopunun Co izotopuyla yapmış olduğu iki farklı reaksiyonun simülasyon ve teorik hesap karşılaştırılmaları verilmiştir.

Tablo A.1. Fe Reaksiyonlarında teorik ve simülasyon sonuçları

Reaksiyonlar	^{56}Fe-^{57}Co	^{56}Fe-^{56}Co
Beam de Oluşan Parçacık Sayısı/teorik	1.24844E+12	1.24844E+12
Simülasyon değeri	1248439450686.641	1248439450686.6416
Hedefteki Atom Sayısı/teorik	1.07627E+18	1.07627E+18
Simülasyon değeri	1078367044498164500	1076633055100632600
Oluşan Reaksiyon Sayısı/teorik	5007492403	3.32379E+11
Simülasyon değeri	5017266181.861278	328853054102.6551
Aktivite/teorik	147.83540200298300	34524.33773323090000
Simülasyon değeri	148.12395171769865	34536.100709134415
Sayım Değeri/teorik	3971.00	1082360.40
Simülasyon değeri	4200	1083100

Tablo A.2'de Zn izotopunun Ga izotopuyla yapmış olduğu iki farklı reaksiyonun simülasyon ve teorik hesap karşılaştırılmaları verilmiştir.

Tablo A.2. Zn Reaksiyonlarında teorik ve simülasyon sonuçları

Reaksiyonlar	Zn68-Ga67	Zn68-Ga68
Beam de Oluşan Parçacık Sayısı/teorik	1.24844E+12	1.24844E+12
Simülasyon değeri	1248439450686.6416	1248439450686.6416
Hedefteki Atom Sayısı/teorik	8.86587E+14	8.86587E+14
Simülasyon değeri	886586788369525100	886586788369525100
Oluşan Reaksiyon Sayısı/teorik	2.62582E+12	2.33607E+12
Simülasyon değeri	2625819727630.9697	233606526687.0222
Aktivite/teorik	6458514.09592877000000	398630490.73
Simülasyon değeri	6458514.095928767	39863049.072750136
Sayım Değeri/teorik	15804410.84	463941977
Simülasyon değeri	15806530	425144750

Tablo A.3'te Ag izotopunun In izotopuyla yapmış olduğu iki farklı reaksiyonun simülasyon ve teorik hesap karşılaştırılmaları verilmiştir.

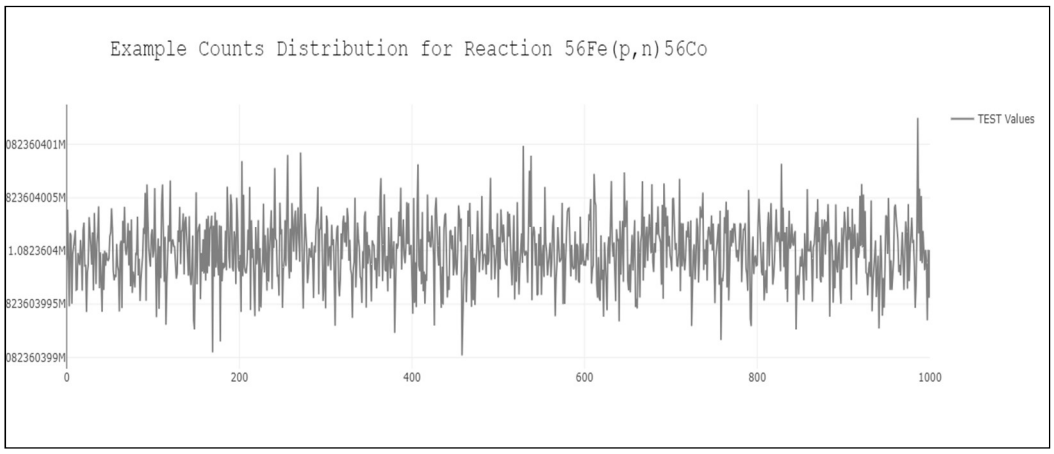
Tablo A.3. Ag Reaksiyonlarında teorik ve simülasyon sonuçları

Reaksiyonlar	$^{107}Ag(\alpha,2n)^{109}In$	$^{107}Ag(\alpha,\gamma)^{111}In$
Beam de Oluşan Parçacık Sayısı/teorik	6.2422E+11	6.2422E+11
Simülasyon değeri	624219725343.3208	624219725343.3208
Hedefteki Atom Sayısı/teorik	5.63317E+17	5.63317E+17
Simülasyon değeri	563316534165186300	563316534165186300
Oluşan Reaksiyon Sayısı/teorik	18389135716	50997308
Simülasyon değeri	18389135715.611343	50997307.995979406
Aktivite/teorik	158537034.50510200000000	76512.20834103960000
Simülasyon değeri	158537034.50510192	76512.20834103956
Sayım Değeri/teorik	41969517.43	779827
Simülasyon değeri	505395222	779973

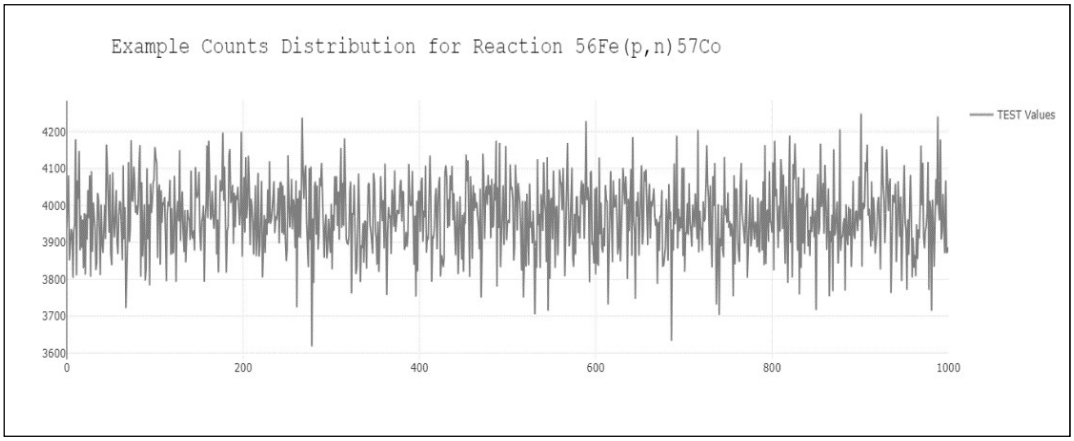
Tablo A.4'de Sn izotopunun Te izotopuyla yapmış olduğu iki farklı reaksiyonun simülasyon ve teorik hesap karşılaştırılmaları verilmiştir.

Tablo A.4. Sn Reaksiyonlarında teorik ve simülasyon sonuçları

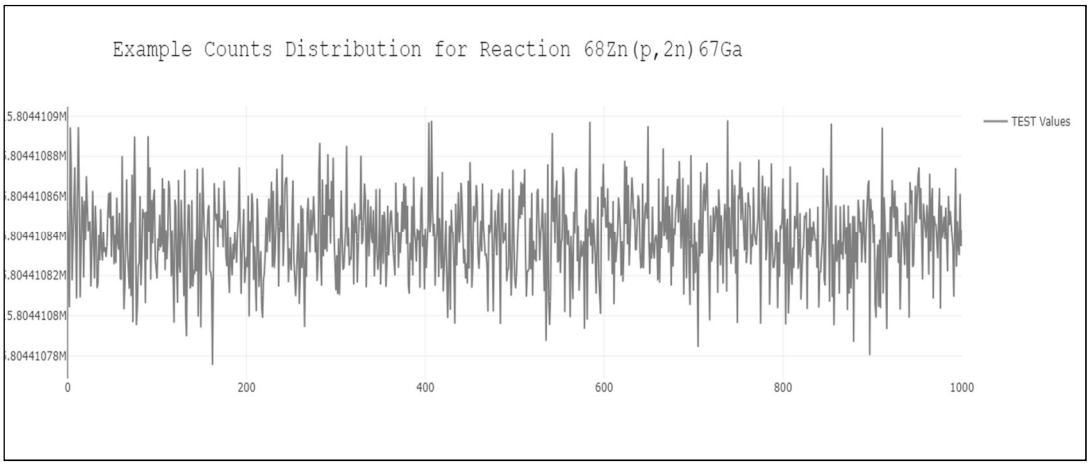
Reaksiyonlar	$^{112}Sn(\alpha,p)^{113}Sb$	$^{112}Sn(\alpha,n)^{113}Te$
Beam de Oluşan Parçacık Sayısı/teorik	6.2422E+11	6.2422E+11
Simülasyon değeri	624219725343.3208	624219725343.3208
Hedefteki Atom Sayısı/teorik	5.38148E+17	5.38148E+17
Simülasyon değeri	538148440532850560	538148440532850560
Oluşan Reaksiyon Sayısı/teorik	39267933.33	45008962.8
Simülasyon değeri	39267933.33283358	45008962.796419345
Aktivite/teorik	68012.13712161300000	305861.13394378000000
Simülasyon değeri	68012.13712161293	305861.1339437798
Sayım Değeri/teorik	19503.32	43055.91
Simülasyon değeri	19507	43065



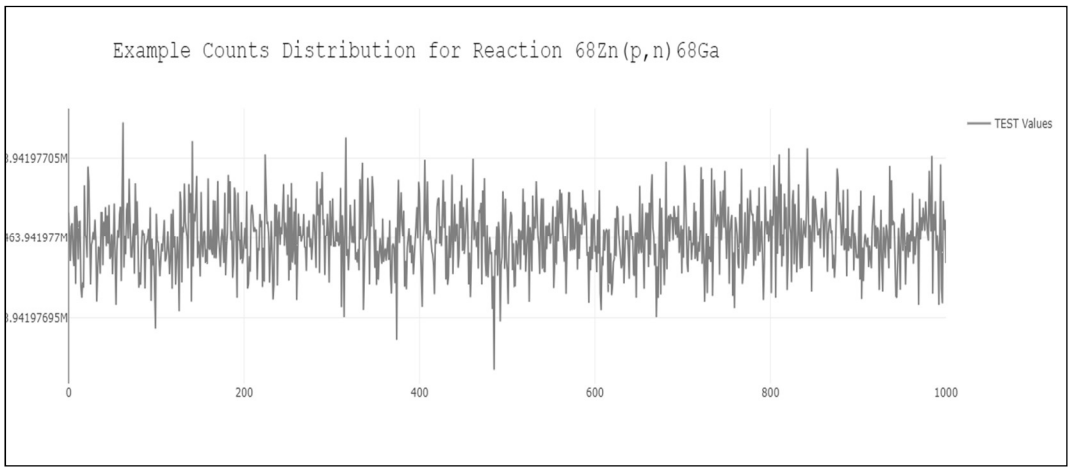
Şekil A.1a. $^{56}Fe(p,n)^{56}Co$ reaksiyonu Box Muller 1000 adet Sayım grafiği



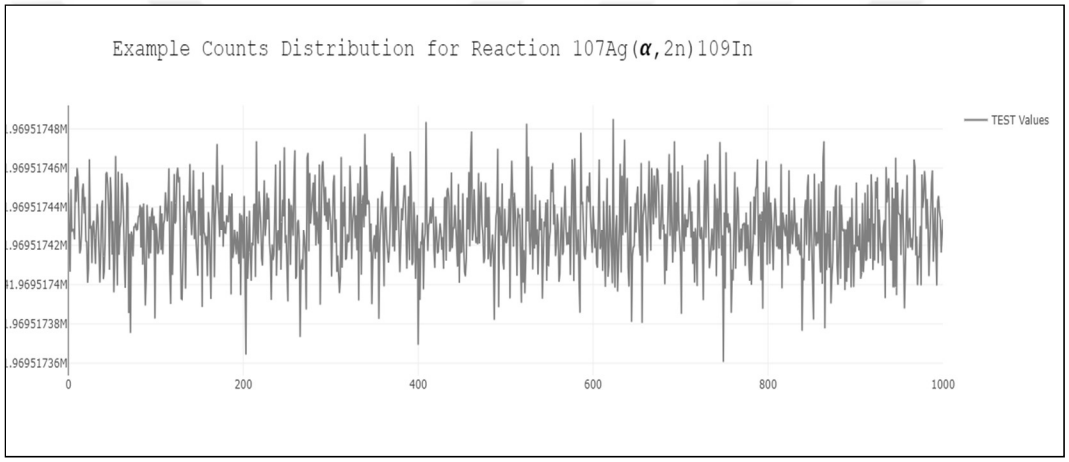
Şekil A.1b. $^{56}Fe(p,n)^{57}Co$ reaksiyonu Box Muller 1000 adet Sayım grafiği



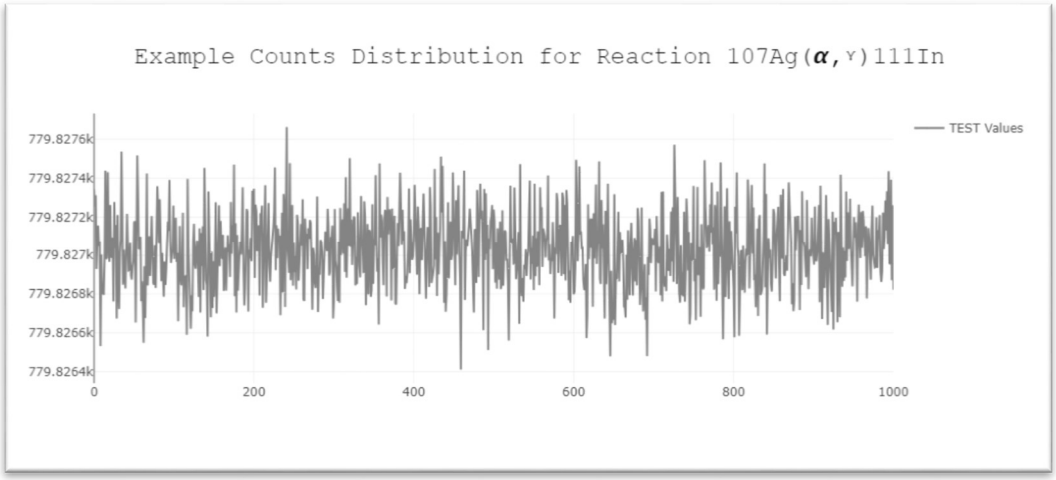
Şekil A.2a. $^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga$ reaksiyonu Box Muller 1000 adet Sayım grafiği



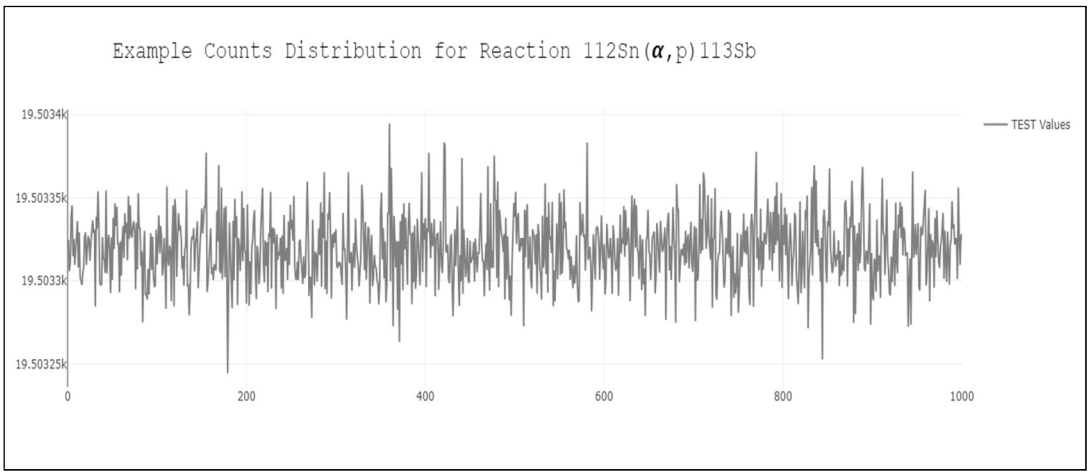
Şekil A.2b. ^{68}Zn(p,n)^{68}Ga reaksiyonu Box Muller 1000 adet Sayım grafiği



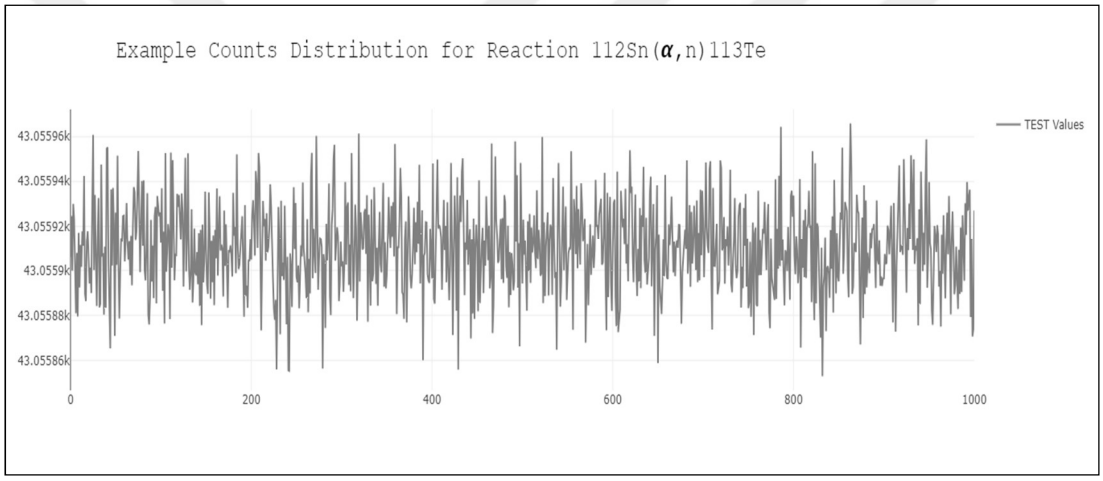
Şekil A.3a. ^{107}Ag(α,2n)^{109}In reaksiyonu Box Muller 1000 adet Sayım grafiği



Şekil A.3b. ^{107}Ag(α,γ)^{111}In reaksiyonu Box Muller 1000 adet Sayım grafiği



Şekil A.4a. $^{112}Sn(\alpha,p)^{113}Sb$ reaksiyonu Box Muller 1000 adet Sayım grafiği



Şekil A.4b. $^{112}Sn(\alpha,n)^{113}Te$ reaksiyonu Box Muller 1000 adet Sayım grafiği

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Akbıyık, B. (2021). Simulation of Charged Particle Reaction Cross Section Measurement with Activation Method, *37. Uluslararası Fizik Kongresi*, Bodrum, Türkiye, 1-5 Eylül 2021.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde eğitimine başladı.