

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GAMA VE NÖTRON RADYASYONLARINA KARŞI KULLANILAN CAM
MALZEMELER İÇİN İKİNCİL PARÇACIKLARIN TESPİT EDİLMESİ VE
OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Barış MERT

DİSİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ
VE
NÜKLEER ENERJİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI

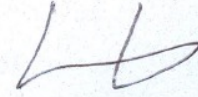
DANIŞMAN
Doç.Dr . Turgay KORKUT

SİNOP – 2019

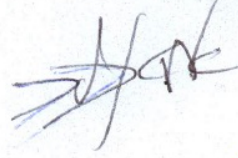
TEZ KABUL

Barış MERT tarafından hazırlanan “ Gama ve Nötron Radyasyonlarına Karşı Kullanılan Cam Malzemeler İçin İkincil Parçacıkların Tespit Edilmesi Ve Optimizasyon Çalışmaları ” başlıklı bu çalışma, 09.07.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan Doç. Dr. Turgay KORKUT
Sinop Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi



Üye Doç. Dr. Hatun KORKUT
Sinop Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi



Üye Dr. Öğr. Üyesi Bünyamin AYGÜN
Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Meslek Yüksekokulu



ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Bariş MERT

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
GİRİŞ.....	1
1. RADYASYON.....	3
1.1. Radyasyon Nedir.....	3
1.2. İyonlaştırıcı Radyasyon Çeşitleri.....	3
1.2.1. Alfa Parçacıkları.....	4
1.2.2. Beta Parçacıkları.....	5
1.2.3. X Işınları.....	6
1.2.4. Gama Işınları.....	7
1.2.5. Nötronlar.....	8
1.3. Nötron Parçacıkları ve Gama Işınları Ve Özellikleri.....	12
1.3.1. Nötron Parçacıkları.....	12
1.3.2. Gama Işınları.....	19
Evrende Gama Işınları.....	20
2. ZIRHLAMA.....	22
2.1. Radyasyon Zırhlama Nedir?.....	22
2.2. Radyasyon Zırhlama İçin Kullanılan Camlar Hakkında Bilgi.....	24
3. METERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1. Çalışmada Kullanılan Oksit Bileşikler.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	32
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	81
1. Kişisel Bilgiler	81
2. Eğitim Bilgileri	81
3. İş Deneyimi	81

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Alfa Bozunumu.....	5
Şekil 2. Beta Işınımı.....	6
Şekil 3. X Işınımı Tüpü.....	7
Şekil 4. Gama Işınımı.....	8
Şekil 5. İyonlaştırıcı Radyasyon Giriciliği.....	8
Şekil 6. İyonlaştırıcı Radyasyon Giriciliği.....	9
Şekil 7. Nötronlar ile Parafinden Elde Edilen Protonların İyonizasyon Odasında Gözlemlenmesi.....	10
Şekil 8. $h\nu$ ise m kütleli geri tepen çekirdeğin enerjisi.....	11
Şekil 9. Radyoaktif Dizi.....	17
Şekil 10. Radyoaktif Dizi.....	18
Şekil 11. Radyoaktif Dizi.....	18
Şekil 12. Gama Bozunum Şeması.....	19
Şekil 13. Elektromanyetik Spekturum.....	20
Şekil 14. GEANT4.....	27
Şekil 15. Cam Örneklerinin Nötron Etkileşmeleri Sonucunda Ortaya Çıkardıkları İkincil Gama Ve Nötron Radyasyonları.....	76
Şekil 16. n1.....	77
Şekil 17. n2.....	77
Şekil 18. n3.....	78
Şekil 19. n4.....	78

Şekil 20. n5.....	79
Şekil 21. n6.....	79
Şekil 22. n7.....	80
Şekil 23. n8.....	80
Şekil 24. n9.....	81
Şekil 25. n10.....	81
Şekil 26. n11.....	82
Şekil 27. n12.....	82
Şekil 27. Acığa Çıkan Gama ve Nötron Sayısı.....	83

ÖZET

GAMA VE NÖTRON RADYASYONLARINA KARŞI KULLANILAN CAM MALZEMELER İÇİN İKİNCİL PARÇACIKLARIN TESPİT EDİLMESİ VE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Enerji, tıp, tarım ve askeri sanayi başta olmak üzere hayatımızın bir çok alanında radyasyon ve etkileriyle karşılaşmaktayız . Teknolojik gelişmelere paralel olarak radyasyonun kullanım sahası ve bağlı alanlar hızla gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır .

Bunun yanında özellikle iyonize radyasyonun, başta insan hayatı olmak üzere tüm canlılar üzerinde olumsuz etkileri olup, radyasyondan korunma gerekliliği, nükleer teknoloji kullanılan sahaların en önemli ve öncelikli sorunudur. Bu sorundan yola çıkılarak son elli yılda radyasyondan korunma yöntemleri önemli bir araştırma ve uygulama konusu haline gelmiş olup , radyasyonun zararlı etkilerine karşı zırhlama çalışmaları yoğunlaşmıştır.

Tez çalışmasının da konusu olan, nötronlara karşı zırh olarak geliştirilmiş malzemeler ile ilgili araştırmalar devam etmekte olup, daha uzun yıllar bu konu, nükleer fizikçiler başta olmak üzere konu ile ilgilenen bilim insanlarının araştırma ve ilgi konusu olacaktır. Bu çalışmada , nötronlara karşı zırh olarak kullanılan oniki cam malzeme belirledik. Belirlenen bu cam zırhlar GEANT4 simülasyon kodları kullanılarak nötronlarla bombalandı ve malzeme nötron etkileşmesinden doğan ikincil radyasyona dikkat çekmek istendi. Bazı cam zırhlarda , malzeme, nötron etkileşmesi sonucu üretilen ikincil gama radyasyonları dikkate alınması gereken ölçülerde olurken ,bu cam malzemelerin içeriğindeki oksit bileşiklerin önemi belirlendi.

Bunun yanında bazı örneklerde ikincil gama radyasyonuna ise oldukça düşük ölçülerde rastlanıldı . Bu malzemeler için iyi radyasyon zırhı tanımlaması yapılması gerektiği vurgulandı. İkincil radyasyon açısından güvenli bulduğumuz cam zırhlarda bizi şaşırtan ve sevindiren bir sonuca ulaşıldı. Bu cam zırhların ortak özelliği içeriklerinde BOR (B) elementi bulunmasıydı. Sevinmemizin kaynağı ise BOR maden rezervleri açısından ülkemizin zengin kaynaklara sahip olmasıdır. Buradan yola çıkılarak bilim insanlarımız içeriğinde BOR bulunan radyasyon zırhı malzemeleri geliştireceklerdir. Ülkemizdeki BOR rezervlerinin dünyadaki en büyük rezervleri olması da, yeni cam zırhlar geliştirilerek ülkemize ekonomik anlamda da büyük kazançlar sağlayacağı kanaatindeyiz.

Anahtar Kelime: Radyasyon, zırh, cam, GEANT4

ABSTRACT

DETECTION AND OPTIMIZATION OF SECONDARY PARTICLES FOR GLASS MATERIALS USED AGAINST GAMMA AND NEUTRON RADIATIONS

Radiation; nuclear power plants ,medicine, military industry , especially in many areas today, we are coming across .It is being used in more areas in parallel with the developments in technology and it is clear that it will become more widespread in the future .

In addition, many negative effects of ionizing radiation on all living things, especially human life, are encountered ; radiation protection is the most important problem of nuclear technology used sites. Based on this problem , radiation protection methods have become an important research and application subject especially in the last fifty years, and studies on this subject have become more concentrated today.

Research on materials developed as neutron armor ,which is also the subject of the thesis study, is ongoing and will be the subject of research and interest for nuclear physicists and materials engineers for many more years.In this study , twelve different glass materials were studied for armor against neutrons. These designated glass armors were bombed with neutrons using Monte Carlo simulation and GEANT4 codes .Secondary radiations arising from neutron interaction with glass materials were identified . In some materials, secondary gamma radiations produced as a result of neutron interaction were measured to be considered, while the importance of some oxide compounds in the content of these materials was determined.

In addition, secondary gamma radiation was found in some samples in very low dimensions .For these materials the emphasis was on radiation armor safe in terms of secondary radiation . We reached a conclusion that surprised and delighted us in the glass armour that we found safe from secondary radiation. The common feature of these glass armors was the presence of boron (B) elements in their contents. The source of our joy is that our country has rich resources in terms of boron mineral reserves. Starting from here, our scientists will develop radiation armor materials containing boron. We believe that boron reserves in our country are the largest reserves in the world and that by developing new glass armors, they will provide great economic gains for our country.

Key Words: Radiation, armor, glass, GEANT4

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak hazırladığım bu çalışma seçilen on iki cam malzeme için GEANT4 kodları kullanılarak hazırlanmıştır. Bu çalışma sırasında zaman gözetmeksizin bilgi, beceri ve tecrübesini benimle sonsuzca paylaşan, tez danışmanım sayın Doç. Dr. Turgay KORKUT'a, yine bu çalışma sırasında yardımını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Hatun KORKUT hocalarıma teşekkürü borç biliyorum.

Bunun yanında bu çalışmamda beni her zaman destekleyen varlığıyla moral ve güç veren sevgili eşim Burcu ERGÜL MERT'e ayrıca kızlarıma yanımda oldukları için teşekkür ediyorum .

GİRİŞ

Radyasyon hem dalga hem parçacık özelliği gösteren ve kaynağından doğrusal olarak çevreye yayılan enerji paketleridir .Uranyum elementinden gözle görülemeyen ışınların çıktığını gören Henry Becquerelle günümüzde halen devam etmekte olan radyasyon çalışmalarının başlangıcı sayılabilir , daha sonraki yıllarda Marie Curie ve eşi Pierre Curie uranyum elementi ile yaptıkları çalışmalarda uranyumun, radyum ve polonyuma dönüştüğünü tespit etmiş bu dönüşüm sırasında yayınlanan ışınların keşfiylede radyasyon ilk kez tanımlanmıştır .

Günümüzde radyasyon hem dalga hem parçacık hali ile yaşamımızın bir çok alanında yer almaktadır ;özellikle bir enerji kaynağı olarak yaygın şekilde kullanılmakla birlikte ,tıpta ,silah sanayide ,endüstrinin birçok alanında radyasyon ve etkileriyle karşılaşmaktayız . Bunların bazılarında bahsedecek olursak haberleşme ve iletişim teknolojilerinde kullanılan radio dalgaları ,tıpta kullanılan x ışınları ,askeri amaçla kullanılan kızılötesi ışınlar ve enerji sağlamak amacı ile kullanılan nükleer santraller ,radyasyonun kullanıldığı yerlerden sadece bir kaçdır .

Radyasyon kaynakları ve kullanım alanları ile çalışmalar günümüzde hızla devam etmekte ve gelecekte de radyasyon kaynaklarının hayatımızda bugün olduğundan daha fazla yer bulacağı aşikardır . Bu durum yanında radyasyon kullanımını karşımıza önemli problemlerde ortaya çıkarmaktadır .Radyoaktivitenin insan ve tüm canlılar üzerindeki olumsuz ve yıkıcı etkisi insanlık için önemli sorunların arasında yer almaktadır .Özellikle parçacık tipli radyasyon kaynaklarının yaydığı radyasyon nükleer teknolojinin en önemli sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır .

Yukarıda bahsedildiği gibi özellikle insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin giderek artması ve tartışılır hale gelmesi sonucunda ,radyasyon zırhlama teknolojisi ile ilgili çalışmalar ortaya çıkmış ve günümüzde hızla devam etmektedir .Parçacık tipi radyasyonda, taneciklerin belli bir kütleleri ve enerjileri bulunmaktadır kaynağından yüksek hızlarla yayılan bu tanecikler canlı hücreler üzerinde yıkıcı etkilere neden olmaktadır .Kendi içinde ikiye ayrılan parçacık tipi radyasyon ;iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan tiptedir .İyonlaştırıcı radyasyon tipinde parçacık madde ile etkileştiğinde yüklü parçacıklar oluşmasına sebep olmakta , bu durumda insan dahil tüm canlı yaşam için olumsuz etkiler taşımaktadır

Çalışmamızda özellikle iyonlaştırıcı radyasyon çeşitlerinden olan nötron tanelerinin ikincil radyasyon etkisinden bahsedeceğiz ancak bunun dışında alfa parçacıkları ,beta parçacıkları ,gama ışınları ve x- ışınları diğer iyonlaştırıcı radyasyon çeşitleridir.Nötronlar yüksüz taneciklerdir ,bu yüzden elektrik ve manyetik alandan etkilenmezler bunun sonucunda da maddelerin iç kısımlarına kadar ilerleyebilirler .Nötronların bu durumu alfa ve beta parçacıklarına göre zırhlanmasını zorlaştırmaktadır ,nötronlarla bombardıman edilen atom çekirdeği, nötronu soğurarak kütlesini artırabilir ve bunun sonucunda kararsız hale geçer ,atom kararlı hale geçebilmek için çeşitli ışınlar yapar bu durum radyasyondur .Günümüzde nötronlara karşı radyasyon zırhı olarak geliştirilmiş hatta patentleri alınmış birçok malzeme bulunmaktadır .On farklı cam malzemeyle yapılan çalışmada GEANT4 Monte Carlo simülasyon kodları kullanılmıştır . Çalışmada nötronların zırhla etkileşimleri sonucunda ortaya çıkan ikincil radyasyona özellikle dikkat çekilmiştir ,bazı malzemelerde oluşan ikincil radyasyonlar içerisindeki güçlü gama varlığı dikkat çekicidir

1. RADYASYON

1.1. Radyasyon Nedir

Radyasyon kaynağından uzaklaşarak çıkan, enerjisine ve türüne bakılarak her tür maddeden geçme özelliği bulunan enerji paketleri olarak tanımlanabilir. Ses, ısı ve ışık bazı radyasyon tipleri olarak bilinmektedir. Tüm maddeler atomdan oluşurken, atomlarsa kuarkların oluşturmuş olduğu elektron, nötron ve proton adı verilen nükleonlardan oluşmaktadır. Atom, proton ve nötronların olduğu merkezi bir çekirdek ile bu çekirdeğin etrafında bulunan belli yörüngelerde dönmekte olan elektronları ihtiva etmektedir. Bir maddenin çekirdeğinde bulunan proton/nötron oranı bir yada bire yakın olarak görülüyorsa, bu durumda olan atomlar aşırı bir enerjiye sahip oldukları için kararsız durumdadırlar. Kararsızlık durumunda olan atomlar proton/nötron dengesinin sağlanması amacıyla fazla durumdaki enerjilerini değişik biçimlerde kaybederek kararlı duruma gelmeye çalışmaktadır. Bu durumun neticesinde ortaya çıkmış olan enerjiye radyasyon adı verilmektedir (Aygün, 2015: 9).

1.2. İyonlaştırıcı Radyasyon Çeşitleri

Radyasyon, ortamda yol alan enerji biçiminde tanımlanmaktadır. Bu tanım, yapay veya doğal radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapı oluşturabilmesi için dışarıya salmış oldukları hızlı parçacıklarla birlikte, elektromanyetik dalga biçiminde taşınmakta olan fazla enerjiler de radyasyon olarak isimlendirilmektedir.

Radyasyon temel olarak iki biçimde sınıflandırılabilir. Bunlar ise dalga ve parçacık tipinde radyasyonlardır. Parçacık radyasyonu, belli bir enerji ve kütleyle ait olan hızlı hareket edebilen minik parçacıkları ifade etmektedir. Bu parçacıklar hızlı bir şekilde giden mermilere benzemekle birlikte, gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Dalga tipi radyasyon, belli bir enerjiye sahip olmakla birlikte kütleli radyasyon biçimi olarak da belirtilmektedir. Bunlar titreşim yaparak ilerlemekte olan manyetik ve elektrik dalgalarına benzemektedir. Görünür ışık dalga tipindeki radyasyonun bir çeşitidir. Bütün dalga tipindeki radyasyonlar ışık hızıyla hareket etmektedir (3×10^8 m/saniye).

Gözlerimizin farkında olabileceği en yüksek enerjili olan ışık mor renktedir. Radyasyonun enerjisinde artış oldukça, ışık rengi mor ötesine giderken, ışığın mor ötesine geçmesiyle bu durum morötesi ismiyle ifade edilmektedir. Morötesi ışığı hissedememekle birlikte aynı

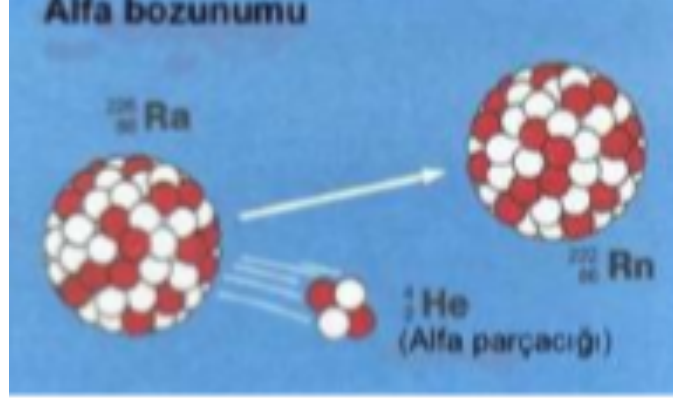
zamanda göremeyiz. Fakat morötesi ışık ortamda mevcut olmakla birlikte şiddeti büyük olursa ciltte bıraktığı güneş yanığı benzeri yanık izleri görülmektedir. Dalga ve parçacık tipi radyasyonları ise iki gruba ayırmak mümkün olmaktadır. Bunlar ise iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olarak adlandırılmaktadır (Köklü, 2006: 7).

İyonize Radyasyon çeşitleri şunlardır:

- Alfa Parçacıkları
- Beta Parçacıkları
- X Işınları
- Gama Işınları
- Nötronlar

1.2.1. Alfa Parçacıkları

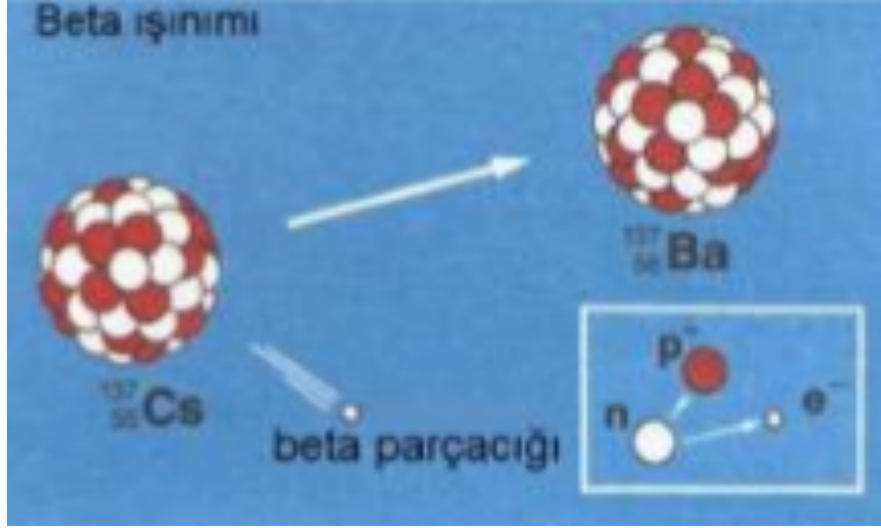
Alfa parçacığı, iki nötron ve iki protondan oluşan bir helyum ($2\text{ He }4$) çekirdeği olmakla birlikte pozitif yüklü durumdadır. α işareti ile sembolize edilmektedir. Çekirdekten, alfa çıkarılmak suretiyle parçalanması olayı atom numarası büyük olan izotoplarda görünürken, özellikle doğal radyoaktif atomlarda da görülmektedir. Alfa parçacıkları, küçük kalınlıkta maddeler ile durdurmak mümkün olmaktadır. Bunun nedeni, diğer radyasyon çeşitlerine bakıldığında büyük elektrik yüklü olmalarıdır. Bu elektrik yükü, alfa parçacıklarının bir madde içinden geçerken yoğun iyonlaşma ortaya çıkarmalarına ve bu nedenle enerjilerini hızlı bir şekilde kaybetmelerine yol açmaktadır. Enerjilerini hızlı bir şekilde kaybeden alfa parçacıklarının ilerleme mesafesi bu nedenle çok kısa olmaktadır. Bu sebeple de normal süreçte dış radyasyon tehlikesi yaratmamaktadırlar. Fakat yaralar, solunum ve mide vasıtası ile vücuda girdikleri takdirde tehlikeli bir hale gelmektedir (Köklü, 2006: 8)



Şekil 1. Alfa Bozunumu

1.2.2. Beta Parçacıkları

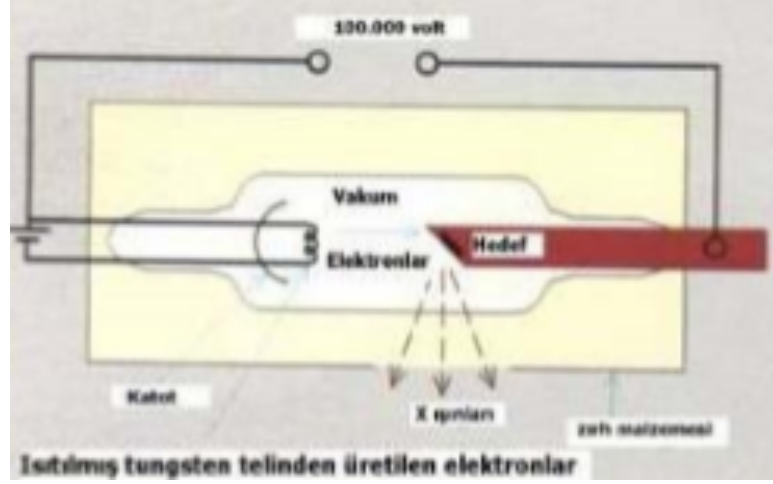
Çekirdekte bulunan enerji fazlalığı çekirdeğin civarında $E=mc^2$ eşitliği ile açıklanmakta olan bir kütle oluşturmaktadır. Bu kütle çekirdekte bulunan fazla yükü almakla birlikte, dışarıya beta ışını olarak çıkmaktadır. Bunlar negatif veya pozitif yüklü elektronlardır. Negatif yüklü elektronlar β^- ile pozitif yüklü olan elektronlar β^+ ile sembolize edilmektedir. Çekirdekte bulunan enerji fazlalığı nötron fazlalığından ileri geliyorsa β^- , enerji fazlalığı proton fazlalığından meydana geliyorsa β^+ ortaya çıkmaktadır. Beta parçacıkları, alfa parçacıklarına benzer bir şekilde belli bir kütleye ve yüke sahip bulduklarından madde içinden geçerken yollarında iyonlaşmaya neden olurlar. Fakat bu iyonlaşma alfa parçacıklarında olduğundan daha az bir iyonlaşmadır. Bunun nedeni ise beta parçacıklarının, alfa parçacıklarına göre daha hafif olduğu ve yüz defa daha girici oldukları görülmektedir. Bunlardan korunmak için ince bir alüminyum yevha içeren zırh malzemesi yeterli olmaktadır (Köklü, 2006: 8,9).



Şekil 2. Beta Işınımı

1.2.3. X Işınları

Röntgen ışınları ismi de verilen X ışınları, mor ötesi ışınlar ve ışık dalgalarına benzer dalga şeklinde olmaktadır. Bir atoma, gönderilen yüksek enerjili elektronlar, adı geçen atomun yörüngelerinden elektronlar koparmaktadır. Atomdan kopmuş olan bu elektronların yerine daha üst seviye elektronlar atlamak suretiyle kopmuş olan elektronun yerindeki boşluğu doldurmaktadır. Bu sırada meydana gelen enerji fazlalığı x ışını olarak dışarıya salınmaktadır. Çekirdek içinde bulunan protonların bir tanesinin hareket etmesi sırasında atomun ilk yörüngelerinde bulunan elektronları yakalayarak nötrleştirir. Yakalanmış olan bu elektronun yörüngesinde boşalan yerlere diğer yörüngelerden elektron geçişi ile X ışını ortaya çıkabilmektedir. Tüm bunlarla birlikte X ışınları yapay bir şekilde röntgen tüplerinde de elde edilebilmektedir.



Şekil 3. X Işınımı Tüpü

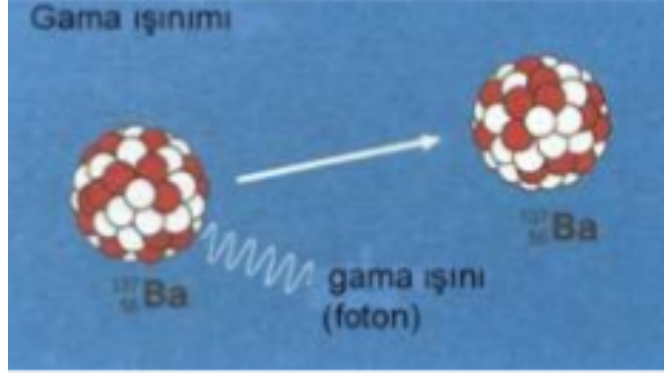
Şekil 3’de görüldüğü üzere, tüp içinde ısıtılmış katottan yayılmış elektronlar, on binlerce volt tutarındaki gerilim ile hızlandırılmak suretiyle karşısında bulunan hedef anota çarpıtılmaktadır. Bu çarpmanın sonucunda elektronlar durdurulurken, elektronların kaybetmiş olduğu enerji X ışını olarak yayınlanmaktadır. Bu olaya Frenleme Işını (Bremmstrahlung) olayı adı verilirken, X ışınının meydana çıkardığı sürekli spektruma da aynı isim verilmektedir (Köklü, 2006: 9)

1.2.4. Gama Işınları

Gama ışınlarının kaynağını atom çekirdeği oluşturmaktadır. Bu ışınlar atom çekirdeklerinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan ortaya çıkmaktadır. Çekirdek bir beta veya alfa parçacığı çıkardıktan sonra kararlı bir biçimde olmamaktadır. Ancak kalan çekirdeğin enerjisi elektromanyetik bir radyasyon olarak yayınlanmaktadır. Gama ışınları, beta ışınlarından daha fazla enerji üretirken, daha girici yani nüfuz edici ışınlar olarak ortaya çıkmaktadır. Bunlar γ ile sembolize edilmektedir.

X ve gama ışınlarının, beta ve alfa parçacıklarına bakıldığında maddenin içine nüfuz edebilme kabiliyetleri çok daha fazla olurken, iyonlaşmaya neden olma etkileri çok daha azdır. Fakat birkaç santimetre kalınlığında olan kurşun tuğlalar ile yalnızca bir kısmı durdurulabilmektedir. Madde içinden geçerken üstel bir fonksiyon biçiminde şiddet

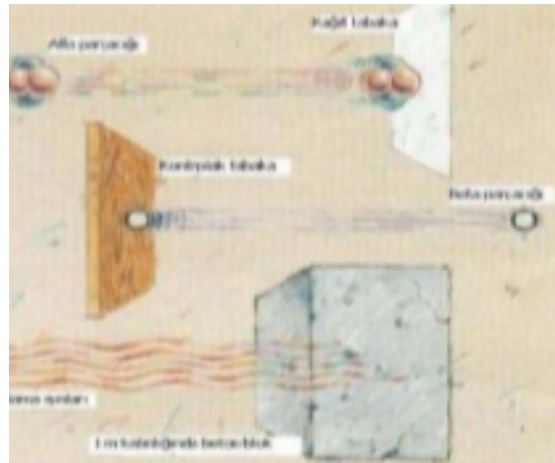
azalmasına uğramaktadır. Yüksüz bulduklarından manyetik ve elektrik alanda sapma göstermemektedir (Köklü, 2006: 10).



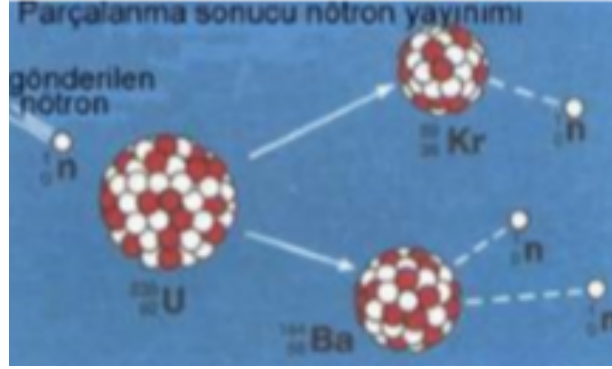
Şekil 4. Gama Işınımı

1.2.5. Nötronlar

Nötronlar, yüksüz parçacıklardır. Bu özelliklere nedeniyle herhangi bir maddenin içine kolayca nüfuz edebilmektedirler. Doğrudan iyonlaşmaya neden olmamaktadırlar. Fakat atomlar ile etkileşmeleri durumunda, iyonlaşmaya sebep olan gama, beta alfa ve X ışınlarının meydana çıkmasına sebep olabilmektedirler. Nötronlar yalnızca parafin, su ve kalın beton kütleleri sayesinde durdurulabilmektedir. (Köklü, 2006: 11).



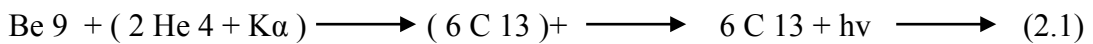
Şekil 5. İyonlaştırıcı Radyasyon Girciliği



Şekil 6. İyonlaştırıcı Radyasyon Giriciliği

1920 senesinde Rutherford, nötronların varlığının ilk işaretlerini ortaya koymuştur. Bunun sonucunda değişik araştırmacıların yapmış oldukları deneyler sonucunda nötron keşfedilmiştir. Rutherford nötronun, proton ve elektronun sıkı bir şekilde bağlanmasından oluştuğunu düşünmektedir. 1930 senesinde H. Becker ve W. Bothe radyoaktif polonyum kaynağından çıkmış alfa parçacıkları ile bor ve berilyum gibi elementleri bombardıman ettikleri takdirde, delip geçebilme gücünün çok yüksek olduğu radyasyon yayınladıklarını tespit etmişlerdir. Bundan sonraki çalışmalar radyasyonun kalın levhaları delebildiğini, manyetik ve elektrik alandan etkilenmediklerini ortaya koymuştur. Fazla bir iyonlaşmaya neden olmadıkları için sis odasında hiçbir iz bırakmamaktadırlar. Elektromanyetik bütün özelliklerini gösterdiğinden, bilinmeyen bu radyasyonun yüksek enerjiye sahip olan fotonlardan ortaya çıkan elektromanyetik radyasyon olduğu düşünülmüştür. Polonyumdan çıkmış olan 5,3 MeV kinetik enerjili haldeki alfa parçacıklarının Be ile etkileşimleri sonucunda ortaya çıkaracağı reaksiyonun;

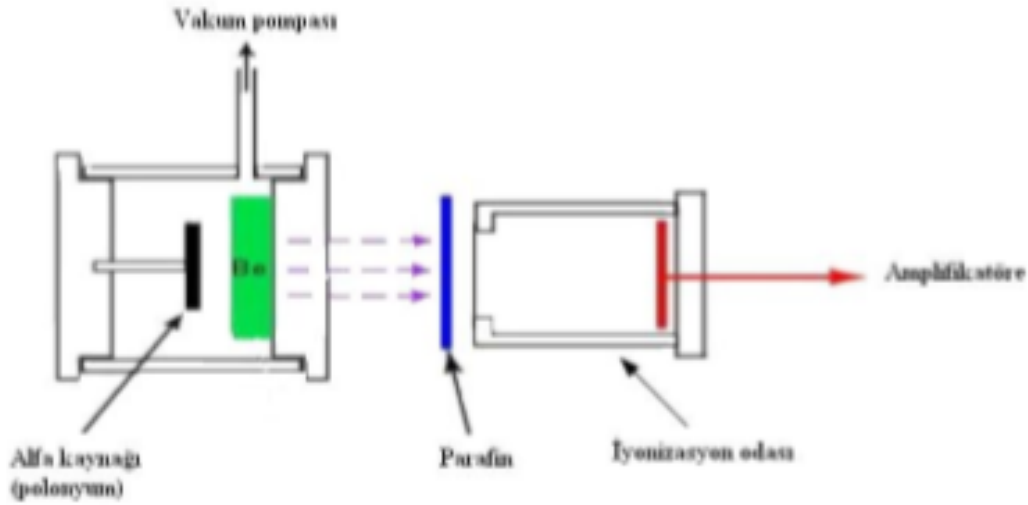
$Be\ 9 + (2\ He\ 4 + K\alpha) (6\ C\ 13)^* \rightarrow 6\ C\ 13 + hv$ (2.1) biçiminde olacağı düşünülmüştür. Buradaki uyarılmış olan çekirdektir.



biçiminde olacağı düşünülmüştür. Buradaki $(6\ C\ 13)^+$ uyarılmış olan çekirdektir. Burada Be ile alfa parçacığı $(6\ C\ 13)^+$ oluşturmak için birleşmektedir. $(6\ C\ 13)^+$, hv enerjili foton yayınlamak suretiyle $(6\ C\ 13)^+$ dönüşmektedir. Bu şekilde kütle farkı ile fotonun enerjisi hesaplanabilmektedir.

$$\begin{aligned}
\text{durgun kütledeki azalma} &= M(\text{Be}) + M(\text{He}) - M(\text{C}) \\
&= (9,011505 + 4,00387 - 13,00748) \text{ akb} \\
&= 0,01144 \text{ akb} \\
&= 0,01144 \times 931,4 \text{ MeV} \\
&= 10,7 \text{ MeV}
\end{aligned}$$

Oluştığı düşünülmekte olan fotonun enerjisine alfa parçacığının enerjisi ilave edilebilmektedir. Bu sayede reaksiyonda toplamda 16 MeV'lik enerji açığa çıkmaktadır. Karbon çekirdeğine bakıldığında geri tepme enerjisi ortalama olarak 2 MeV olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple fotonlar en fazla 14 MeV'lik enerjide olacaktır. Fakat radyoaktif elementlerce yayınlanmakta olan gama ışınları bunlar kadar enerji sahibi olamamaktadır.



Şekil 7. Nötronlar ile Parafinden Elde Edilen Protonların İyonizasyon Odasında Gözlemlenmesi

1930 ile 1933 yılları arasında F. Joliot ve Curie bilinmemekte olan bu radyasyonu, hidrojeni fazla olan parafin maddesinin üstüne göndererek, iyonizasyon odasında çok fazla şekilde iyonlaşmaya neden olan protonlar yayınladıklarını belirtmişlerdir (Şekil 2.1). Benzer deneyler sis odasında yapıldığında, parafinden çıkmakta olan fotonlar hemen hemen 40 cm uzunluğu

olan izler ortaya çıkarmıştır. Bu deneyler ile azot ve başka materyallerle de denemişlerdir. Protonun ve azot çekirdeğinin en fazla geri tepme enerjisi 1,4 MeV ile 5,7 MeV şeklinde bulunmuştur. Bu çalışmalar sonucunda geri tepme enerjisini açıklamak istemişlerdir. Bilinmeyen bu tür radyasyonun yüksek enerjiye sahip olan fotonlardan oluştuğunun kabul edilmesi durumunda çarpışmanın çekirdek ile foton arasında Compton çarpışması şeklinde olduğunu düşündürmüştür. Gelen fotonun enerjisi $h\nu$ ile kütlesi m olan çekirdekten saçılmakta olan enerjisi $h\nu'$ ise m kütleli geri tepen çekirdeğin enerjisi ise Şekil 8 denkleminde görüldüğü gibi olmaktadır.

$$h\nu - h\nu' = h\nu \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{h\nu}{mc^2} (1 - \cos\theta)} \right)$$

Şekil 8. $h\nu$ ise m kütleli geri tepen çekirdeğin enerjisi

Gelen foton yönü ile saçılan foton yönünün arasında bulunan açı değeri 180 derece olarak alanmak suretiyle elde edilecek olan en fazla geri tepme enerjisi hakkında yapılacak yorumsa $h\nu$ şeklindedir. Azot ve proton çekirdeklerinin geri tepme enerjileri bilinmekle birlikte, gelen fotonun yani bilinmeyen radyasyonun enerjisi hesaplanabilmektedir.

Şekil 8 denkleminde bakıldığında, protonun 5,7 MeV'lik geri tepme enerjisinde gelen fotonun yaklaşık 55 MeV'lik enerjiye sahip bulunması gerekmektedir. Azotun ise 1,4 MeV olan geri tepme enerjisinin ortaya konulabilmesi için gelen fotonun enerjisinin yaklaşık 90 MeV olarak görünmesi gerekmektedir. Bilinmeyen radyasyonun enerjisi yaklaşık 12 MeV şeklinde elde edilmiştir. Bununla birlikte bu durum Compton olayıyla izah edilememekle birlikte, gelen radyasyonun fotonlardan meydana gelmediği anlaşılmıştır.

1930 senesinde J. Chadwick bu olayın doğru bir şekilde izahını yapmıştır. Chadwick, çarpışmalarda Momentum ile enerji korunumu kanunundan vargeçilebileceği gibi radyasyon hakkında başka hipotezlerin gerekeceğini söylemiştir. Bu radyasyonun kuantum olarak değil

de protonun kütlesine daha yakın kütleli parçacıklardan oluştuğu öngörülürse çarpışmayla ilgili olan güçlükler ortadan kalkacaktır. Bununla birlikte parçacıkların yüksüz oldukları kabul edilerek radyasyonun büyük delip geçme özelliği açıklanmıştır. Bu sayede nötronun, bir protonla, bir nötronun kuvvetli kombinasyonu neticesinde ortaya çıktığı kabullenilmiştir. Bu nötronun kütlesinin bir protonun kütlesine eşit derecede olduğu, proton ile azotun geri tepme enerjilerindeki deneysel veriler birleştirilmek suretiyle gösterilmiştir. Yani m_1 kütle v hızında parçacıkla durmakta olan m_2 kütleli bir parçacığın esnek bir şekilde çarpışmasını incelemişlerdir. Momentum ve enerji korunumu kanununa bakıldığında çarpışmadan önce olmakla birlikte, sonrası için de 2.3 ve 2.4. eşitlikleri yazılabilmektedir (Umaç, 2012: 12-15).

1.3. Nötron Parçacıkları ve Gama Işınları Ve Özellikleri

1.3.1. Nötron Parçacıkları

Nötronlar yüksüz parçacıklar olarak bilinmektedir. Bu özellikleri dolayısıyla herhangi bir maddenin içine kolay olarak nüfuz edebilmektedir. Nötronlar doğrudan bir iyonlaşmaya neden olamamaktadır. Ancak atomlar ile etkileşmeleri iyonlaşma sağlayan gama, beta, alfa veya X ışınlarının meydana gelmesine sebep olabilmektedir. Nötronlar yüksüz durumda olduklarından maddeyle zayıf etkileşime girmekle birlikte, maddenin içine kolayca nüfuz edebilirken, kolaylıkla durdurulamamaktadır.

Atom çekirdeğinin keşfedilmesinden itibaren geçmiş olan 20 yıl boyunca fizikçiler genellikle bütün elementlerin çekirdeklerinin elektronlardan ve hidrojen çekirdeklerinden oluştuklarını sanmışlardır. Helyum, 4 atom ağırlığına, 2 atom numarasına sahip bulunurken, $4-2=2$ elektronik birimlik çekirdek yükü verebilmek için, çekirdek 4 proton ve 2 elektrondan oluşmalıdır düşüncesi bulunmaktadır. Benzer şekilde 16 atom ağırlıklı olmakla birlikte 8 atom nolu oksijen çekirdeğinin 16 protondan, 8 elektrondan oluştuğu varsayılmaktadır. Bunların 4 alfa parçacığı şeklinde toplanabilecekleri yaygın olan bir düşüncedir.

Çekirdeğin nelerden oluştuğunu gerçekten bulmak için onu parçalayarak nelerin ortaya çıktığını görmek gerekmektedir. Böylece ilk çekirdek parçalanması Ruthelford tarafından 1917 yılında Manchester'de başarılmıştır (Weinberg, 2002: 163,164).

Yüksüz bir çekirdek parçacığının keşfedilmesi ise 1932 yılında Cavendish Laboratuvarında, James Chadwick tarafından yapılmıştır. Chadwick, Manchester'de Rutherford'un öğrencisi

olarak bulunmuştur. 1932 yılında Chadwick, Frederic ve Irene Joliot-Curie'nin önemli bir keşfine odaklanmıştır. Birkaç sene önce H. Becker ve W. Bothe, radyoaktif polonyum elementinden çıkmakta olan çok hızlı alfa parçacıkları ile bombardıman edildiği takdirde berilyum ve diğer hafif olan elementlerin nüfuz eden bir ışın yaydıklarını bulmuştur. Bu ışının önceleri Rutherford tarafından incelenenlere benzeyen çekirdek parçalanmalarında sanılan protonlardan çok daha fazla nüfuz edici olduğu görülmüştür. Bu ışınlar ilk bakışta gama ışınları, X ışınları ve ışık gibi elektromanyetik ışınım olduklarını bilim adamlarına düşündürmüştür. Ancak daha sonra Frederic ve Irene Joliot-Curie berilyumdan çıkmakta olan bu ışınların, hidrojeni bol olan bir maddeye, örnek verilecek olursa parafine yönlendirdiklerinde o maddeden protonların çıktığını gözlemlemiştir.

Rutherford'un 1920 yılında Bakerian Konferansında kurgulamış olduğu bir elektron ve bir protonun elektrik için yüksüz bileşimidir. Chadwick bu neticeyi, Rus fizikçi Leonidovic Kapitsa tarafından Cavendish'de fizikçilerin derneği Kapitsa Kulüpte sunmuştur. Chadwick bu keşfini önce Nature Dergisinde, daha sonra da eksiklerini tamamlayarak Royal Society Raporlarında yayınlamıştır. Son raporunda Chadwick sözü edilen parçacığı o zamandan beri bilinmekte olan adıyla, nötron olarak adlandırmıştır.

Nötron, Rutherford'daki gibi, Chadwick için de yalnızca bir elektron ve bir protondan oluşan bir bileşiktir. Nötron, kendi başına temel bir parçacık değildir. Bu görüşe bakıldığında, kütlelerin daha kesin ölçümü ile pekiştirilmiştir. Çünkü bu ölçüm, nötronun kütlesini, elektronun kütlesi ile protonun kütlesinin toplamından biraz daha küçükmiş gibi göstermektedir. Nötron hakikaten böyle bir bileşikse, Einstein'ın kütle-enerji bağlantısına bakılarak bunun böyle olması beklenmektedir.

Chadwick, 1932 yılında yazdığı makalesinde çekirdeğin yapısında nötronun rolü konusunda tahminde bulunmamıştır. Bu problem 1925, 1926 yıllarında kuantum mekaniğinin öncülerinden olarak ün kazanmış Alman kuramcı W. Heisenberg tarafından ele alınmıştır. Bir fizik dergisinde bir dizi makale yazan Heisenberg, çekirdeğin nötronlardan, protonlardan oluşmakla birlikte, aralarındaki elektron alışverişi ile bir arada tutulduklarını söylemektedir. Bu durumda bir bir nötron elektronu verildiğinde proton haline döner, bu elektron başka bir proton tarafından kapılarak nötron haline gelmektedir. Burada momentum ve enerji kadar yük de değiştirilir ve değiş tokuş kuvveti adı verilen bir kuvvet ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, Heisenberg tarafından nötron bir elektron ve bir proton bileşiği olarak düşünüldüğü için , neticede çekirdek elektron ile protondan yapılmış gibi görünmektedir.

Çekirdek ile ilgili olan bu görüşe o de-önemde itirazlar başlamıştır. İtirazların en önemlisi şaşırtıcı bir kaynaktan gelmiştir. 1929 yılında Gerhard Herzberg ve Walter Heitler, azot ve oksijen gibi iki atomlu olan moleküllerin spektrumunun, çekirdeğin içindeki temel parçacık sayısının tek mi, çift mi olduğu durumuna can alıcı bir şekilde bağlılığına işaret etmişlerdir. Atomlar gibi moleküller de yalnız belirli kesin enerji durumları içinde bulunurlar ve spektrumları enerji durumlarındaki geçişlerde ışık salınması veya da soğurulması sonucunda meydana gelmektedir. Çekirdekleri çift sayıda temel parçacıklar içeren iki özdeş çekirdekli molekülde, özdeş olmayan çekirdek çiftinde var olan moleküller enerji düzeylerinin yarısı bulunmamaktadır.

Çekirdekler özdeş olmakla birlikte, her birisi tek sayıda parçacık içermekteyse, bu kere enerji düzeylerinin diğer yarısı bulunmamaktadır. Bu kurala bakıldığında, oksijen çekirdeğinin çift sayılı parçacık içerdiği bulunmuştur. Bu durumun şaşılacak bir yanının bulunmamasına rağmen, 16 atom ağırlığıyla ve 8 atom numarasıyla, oksijen çekirdeğinin 16 proton, $16-8=8$ elektrondan meydana geldiği düşünülmüştür. Bu da toplam olarak $16+8=24$ parçacık ortaya çıkararak çift sayı vermektedir. Herzberg ve Heitler, azot çekirdeğinin de çift sayıda parçacıktan oluşması gerektiğini söylediğinde sürpriz ortaya çıkmıştır. Azot 14 atomdan oluştuğu ve 7 atom numarasını aldığına göre, çekirdeği yalnızca elektron ve protondan oluştuysa 14 protona ve $14-7=7$ elektrona sahip olmalıdır. Bu da toplamda $14+7=21$ eder ki ortaya çıkan tek sayıdır. $-N_2$ molekül spektrumundan çıkan neticeyle çelişmektedir.

Bu durumda çözüm, aynı elektron ve proton gibi nötronu temel bir parçacık olarak kabul etmektir. Çekirdeğin nötrondan ve protondan oluştuğu varsayımı kabul edilirse, nötron, proton ile aynı kütleye sahip bulunduğuna göre, atom ağırlığı nötronlarla, protonların toplamına, atom numarası ise protonların sayısına eşit olmaktadır. Bu durumda nötron ve proton şu kurallar çerçevesinde verilmektedir. Proton sayısı=Atom numarası ile Nötron sayısı=Atom ağırlığı-atom numarası bunların toplamı atom ağırlığı olarak bulunmamaktadır.

Chadwick'in bu düşünceden haberi olmasına rağmen, bu düşünceyi çok ciddiye almadığı da görülmektedir. 1932 yılında yayınladığı makalesinin sonuna, kuşkusuz ki nötronu temel bir parçacık olarak düşünmek mümkündür diye eklemiştir. Bu görüş nötron çekirdeğinin istatistiğini izah dışında şu anda önerilmeye değer uyarısında bulunmamaktadır.

Nötronun temel parçacık olarak kabul edildiği tarihi saptamak oldukça zordur. Kabulünü sağlayan şeylerden birisi, nötron kütesinin daha doğru ölçümü olmuştur. Maurice Goldhaber ve Chadwick, döteronu bir nötron ve bir protona parçalamak için gama ışınlarını

kullanmak suretiyle 1943 yılında nötronun kütlesini bir elektronun ve bir protonun kütlelerinden biraz büyük bulmuşlardır.

Burada belki de etkili olan deney, 1936 yılında ABD’de Merle A. Tuve’nin, L.R. Hafstad ve N.Heisenberg’le birlikte protonların, protonlardan saçılması üzerine yapmış oldukları deneydir. Heisenberg’in düşüncesine bakıldığında, nötronlar ve protonlar birbirlerinin üzerine elektron değiş tokuşu ile kuvvet uygulayabilmektedir. Ancak protonlar, elektron içermemektedir. Hafstad, Heisenberg ve Tuve protonların hidrojen bir hedeften şiddetli olarak saçıldıklarını bulmuşlardır. Bu iki proton arasındaki kuvvetin bir nötron ve bir proton arasındaki kuvvet kadar şiddetli bir şekilde olduğunu göstermektedir.

Nötron, elektron ve protondan oluşmamış ise ve çekirdeğinde başka elektronlar bulunmuyorsa o durumda beta-radyoaktivitesinde çekirdeklerce elektron salınmasını nasıl anlamak gerekmektedir. Bu sorunun yanıtı ise 1933 yılında nötronun keşfedilmesinden yaklaşık bir yıl sonra Roma’da, Enrico Fermi tarafından beta-radyoaktivitesi kuramından gelmiştir.

Fermi kuramına bakıldığında, beta-radyoaktivitesinde bir elektronun salınması, tama anlamıyla uyarılmış olan bir atom tarafından ışık salınması gibi olmaktadır. Ne ışık, ne de beta parçacığı salındığı ana kadar atomun içinde bulunmaktadır. Ancak beta parçacıklarının salınmasının sebebi elektron anyetizma değil, zayıf etkileşim olarak bilinen, tam anlamıyla yeni bir kuvvet türü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Chadwick’in nötronu keşfetmesi, Fermi’nin beta-radyoaktivitesi kuramının yanında, E.O. Lawrence, Walton ve Cockroft’un hızlandırıcıyla birlikte modern çekirdek fiziği dönemini başlatmışlardır. Çekirdek ile alakalı daha sonra yapılan çalışmaların birçoğu kitabın alanı dışında kalmıştır. Ancak önceleri Soddy ve Rutherford tarafından deneysel anlamda incelenmiş olan radyoaktif beta ve alfa bozunumlarının anlaşılmasının 1933 yılından sonra nasıl mümkün hale geldiğini görmek ilginç olacaktır.

Nötron ve protonların sayısını koordinat olarak enlem ve boylam yerine kullanmak suretiyle, bütün elementlerin, bütün izotopların haritasını yaptığımız varsayılırsa, bu haritanın üzerinde çekirdek parçacığı başına çekirdek enerjisini göstermekte olan noktalar işaretlenmektedir. Hafif çekirdekler ile başlamak kaydıyla, haritada alt soldan, üst sağa doğru köşeden köşeye giden bir vadi görülmektedir. Vadinin tabanında bulunan çekirdekler nötron ve proton sayılan eşit haldeki çekirdeklerdir.

Çekirdek kuvvetleri, karmaşık sebeplerden dolayı, bu çekirdeklere genellikle kuvvetli bir bağlama ve dolayısı ile düşük enerji verilmektedir. Bu vadinin nötron bakımından zengin tarafında olan çekirdekler, proton ve nötronu eşit çekirdeklerden daha fazla enerjiye sahip bulunmaktadır. Dolayısıyla bir nötron, bir protona dönerse enerji salınmaktadır. Yükü dengelemek için bir elektron yapmak için yeterli olan enerji bulunuyorsa, o zaman geçişler meydana gelmekle birlikte, çekirdek beta-radyoaktivitesi sergileyecektir. Örnek verilecek olursa atmosferde kozmik ışınların oluşturduğu ünlü izotopu (altı proton, sekiz nötron) nötronca zengindir. Dolayısıyla bir elektron yayınlar ve en yaygın haldeki azot izotopu olan ^{14}N 'ye geri dönmektedir.

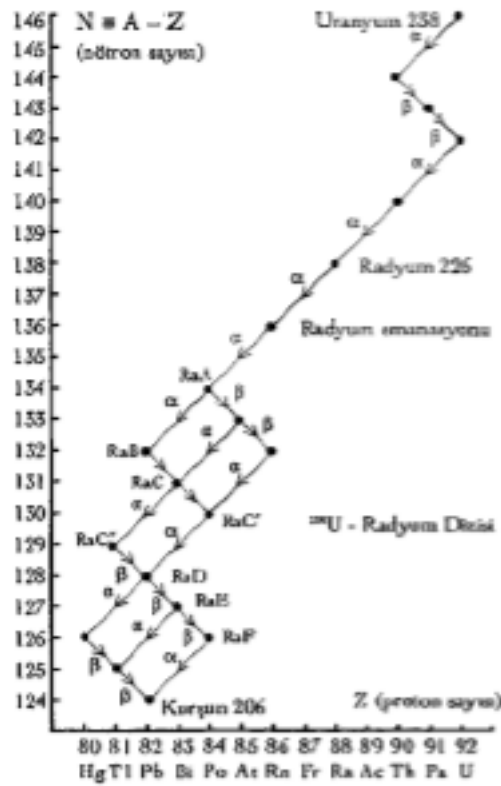
Nötronun kendisi de, 15 dakikalık tutan ömrüyle beta bozunumuna uğrayıp bir protona dönüşür. Ancak bu, 1948 yılına kadar gözlenmemiştir. Kararlı vadinin protonca zengin tarafının çok ötelerindeki çekirdekler de bir tür beta bozunumu sergilemektedir.

Kararlı vadide daha ağır elementlere doğru gidersek, vadinin sürekli derinleştiğini görülmektedir. Çünkü proton ve nötron sayılarının artmasıyla, çekirdek kuvvetlerinin neden olduğu çekim de artmaktadır. Bu sebeple, hafif elementlerin çekirdekleri, çekirdekleri oluşturmak üzere kaynaşırsa, enerji salınacaktır. bizim Daha sonra, yirmiden daha fazla protona sahip olan çekirdekler için, yeni bir etken işin içine girmektedir. Hafif çekirdekler için protonlar arasındaki itici elektrik kuvvetleri, nötronlar ve protonlar arasındaki çok şiddetli çekirdek kuvvetlerine göre iyice zayıftır. Ancak büyük çekirdekler için elektrik kuvvetleri, çekirdek kuvvetlerinden çok daha hızlı bir şekilde birbirlerine eklenerek büyürler ve yirmi protondan daha fazla olduklarında önemli hale gelirler. Bu olgu iki etkiye sahiptir. Kararlı vadinin tabanı tekrar yükselmeye başlar ve vadi, haritanın nötronca-zengin kıyasına doğru yön değiştirir. Çünkü çekirdek enerjisinin yükselmesinden sorumlu olan protonların yüküdür.

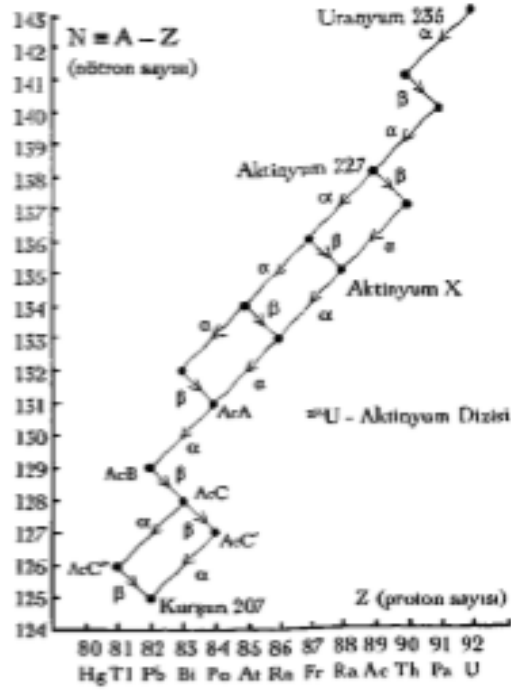
Vadinin tabanı yükselmekle birlikte yükselme çok yavaştır ve orta atom ağırlıklı elementler için, bir atom ağırlığından dört birim ilerdeki bir diğer atom ağırlığına gittiğimizde çok az bir enerji artışı olmaktadır. Öyle ki bu artış, ağır çekirdeğin bir alfa parçacığı salarak hafif çekirdeğe bozunmasına yetmemektedir. Kurşundan daha ağır elementler için, vadi tabanı çok daha hızlı yükselir ve burada ağır çekirdeklerin alfa parçacıkları salarak fazla yüklerinden kurtulmaları için yeterli enerji bulunmaktadır. Bununla birlikte, alfa parçacıklarının salınması, protonlara oranla nötronların fazla oluşunu değiştirmemektedir. (Alfa parçacığı, her birinden ikişer adet içerir.) Böylece bir ağır çekirdek bir alfa parçacığı salarak daha hafif bir çekirdeğe

dönüştüğünde, yeni çekirdek, daha ağır çekirdeğe uygun olabilecek bir nötron fazlalığına sahip olacaktır.

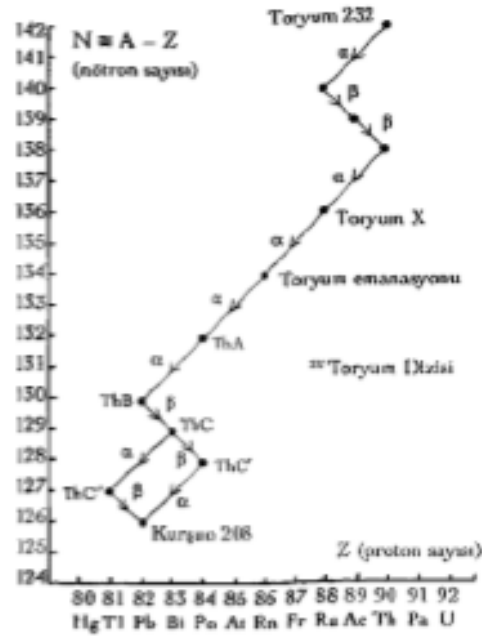
Atom ağırlığı arttıkça, çekirdek enerjileri vadisi, sürekli olarak daha büyük nötron fazlalıklarına doğru dönmektedir. Dolayısıyla alfa bozunumunda ortaya çıkan çekirdekler beklendiği gibi vadinin nötronca-zengin kıyısında yer alacaktır. Bir sonraki alfa bozunumundan sonra, arta kalan çekirdek nötronca daha da zengin hale gelecektir. En sonunda, yeterli sayıda alfa bozunumundan sonra kalan çekirdek vadiyle o denli ötede olacaktır ki, bir elektron yaratmak için yeterli enerji mevcut olacak ve çekirdeği vadi tabanına geri döndürecek bir beta bozunumu ortaya çıkacaktır. Bu durum da, görülen desen, aralara beta bozunumları serpiştirilmiş bir alfa bozunumları dizisidir. Öyle ki alfa bozunumları çekirdeği vadiye doğru çekerken vadinin nötronca-zengin kıyısına da geçirebilir. İşte o zaman da beta bozunumu, çekirdeği vadi tabanının yakınlarına geri döndürür. Bu desen, aşağıda verilen radyoaktif dizilerde açıkça görülebilir.



Şekil 9. Radyoaktif Dizi



Şekil 10. Radyoaktif Dizi



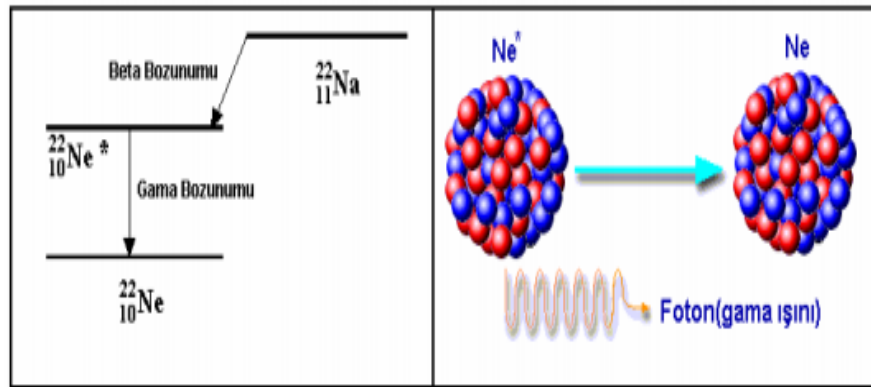
Şekil 11. Radyoaktif Dizi

Son yıllarda, nötronlar ile yapılan uygulamalar dahada önem kazanmıştır. Nötronlar elektrik yükü taşımazlar; bu nedenle çekirdek etrafında oluşan ve alfa parçacıklarıyla diğer çekirdekleri iten şiddetli elektrik alanlarından etkilenmezler. Dolayısıyla, Ruthetford'un 1920 yılına Bakerian Konferansında işaret ettiği gibi, nötronlar ağır çekirdeklerin içlerine bile kolayca sokulabilir ve çekirdek parçalanmalarına neden olabilirler. Nötronların ağır çekirdekleri fisyona uğrattıkları, 1938 yılında Fritz Strassmann ve Otto Hahn tarafından keşfedilmiştir. Her fisyon birden fazla nötron üretir, böylece çekirdek zincir tepkimesi mümkün olmaktadır. (Weinberg, 2002: 163-179).

1.3.2. Gama Işınları

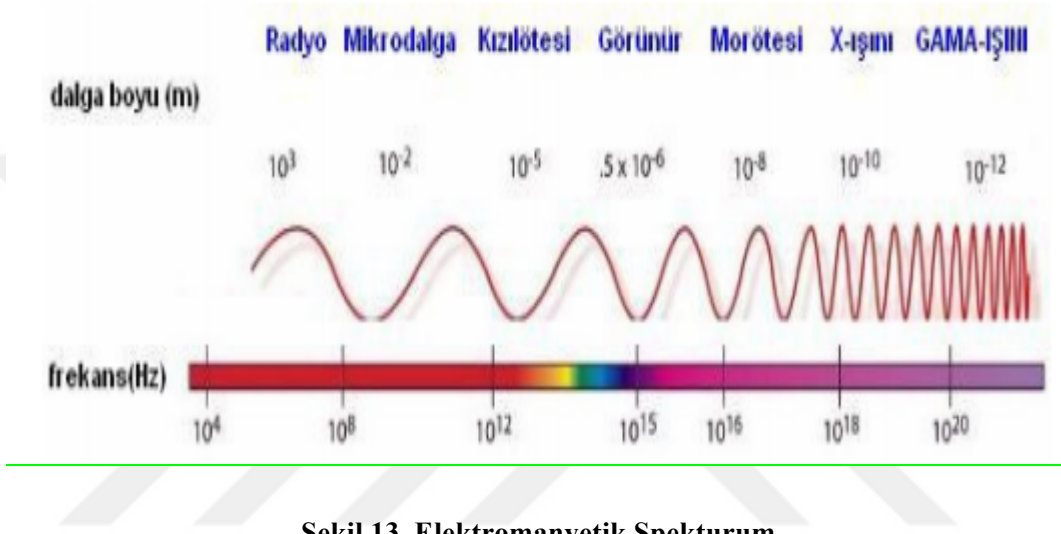
Radyoaktif bozunmaya uğramış ya da nükleer reaksiyondan sonra meydana gelen ürün çekirdek, uyarılmış enerji seviyesinde kalmaktadır. Bu durumdaki çekirdek, ikinci bir bozunumla bir foton yayınlamak suretiyle daha düşük bir enerji seviyesinin yanında, taban enerji seviyesine düşmektedir. Çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinden temel enerji seviyesine düşmesi sırasında yayınlamış olduğu fotonlara gama ışını adı verilmektedir.

Şekil 12'de, Na'nın, beta bozunumu yapmak suretiyle Ne'nin uyarılmış haline dönüşmesinin yanında, uyarılmış halde olan Ne çekirdeğinin gama bozunumuyla temel enerji seviyesine düşerken, yayınlamış olduğu gama ışınının şematik diyagramları gösterilmektedir.



Şekil 12. Gama Bozunum Şeması

Gama ışınlarının enerjileri 0,1-10 MeV arasındadır. Çekirdek durumları arasında bulunan enerji farkı mertebesinde olmakla birlikte, bu durum 410 ile 100 fm dalga boyu aralığına karşılık gelmektedir. Gama ışınları şekil 2.2’de gösterilmekte olan elektromanyetik spektrumunun en kısa dalga boyuyla, fazla enerjili olanlarıdır. Kütleleri olmamakla birlikte, yüksüzdürler, dolayısıyla manyetik ve elektrik alanında saptırılmazlıkla birlikte, yüksek enerjileri nedeniyle madde içinde yol alabilirler ve ışık hızıyla yayılabilmektedirler .(Akkoyun, 2006: 2,3).



Evrende Gama Işınları:

Gama ışınları evrende en sıcak bölgelerde üretilmekte olan ışığın enerjik olan formlarıdır. Bununla birlikte süpernova patlamaları veya atomların parçalanmaları ile uzayda bulunan radyoaktif maddelerin bozunmalarından üretilmektedir. Kara delikler, pulsarlar, nötron yıldızları ve süpernovalar bütün evrenin gama ışın kaynağı olarak bilinmektedir. Gama ışınları evrende çok geniş mesafelerden yayılmak suretiyle yerküreye gelirken, yalnızca yerküre atmosferince soğurulmaktadır. Işığın değişik dalga boyları atmosferi delerek farklı derinliklere ulaşabilmektedir.

Gama Işın Kaynakları:

Evrene bakıldığında, gama ışınlarının ortaya çıkmasını sağlayan değişik işlemler bulunmaktadır. bu işlemler şunlardır (Akkoyun, 2006: 3):

- Yüksek enerjili olan bir parçacığın, başka bir parçacıkla çarpışması,
- Bir parçacık ile onun karşıtı bir parçacığın birbirlerini yok etmesi,

- Radyoaktif bozunma,
- İvmelendirilmiş yüklü parçacıklar şeklinde verilir.

Akkoyun, Serkan, (2006), Uzayda Gama Işını Ölçümleri – Bir Geant Simülasyonu, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

2. ZIRHLAMA

2.1. Radyasyon Zırhlama Nedir?

Dış radyasyona karşı korunmada üç yöntem bulunmaktadır. Bunlar şunlardır:

1. Uzaklık
2. Zaman
3. Zırhlama

Uzaklık: Noktasal kaynaklardan yayımlanan radyasyon şiddetleri kaynaktan olan uzaklığın karesiyle azaldığından, uzaklık iyi bir korunma aracı olmaktadır.

Zaman: Radyasyon dozu miktarı radyasyon kaynağının yanında geçirilecek süre ile orantılı olarak arttığından kaynak yakınında mümkün olabildiğince kısa süre kalınmalıdır.

Zırhlama: Dış radyasyon tehlikelerinden korunmanın en etkin yöntemi zırhlama olup radyasyonun şiddetini azaltmak için radyasyon kaynağı ile kişi arasına uygun özelliklerde koruyucu engel konulmalıdır. Zırhlama toprak, beton, çelik, kurşun gibi koruyuculuğu yüksek materyal kullanılarak yapılabilir (Ocaktan, 23-25, file:///D:/17568/Desktop/BARI%C5%9E%20MERT/RADYASYON%20ETK%C4%B0LER%C4%B0%20KORUNMA%20%20ES%C4%B0N%20OCAKTAN%20(1).pdf).

Zırhlama, kaynağın dört tarafında yapılmalıdır. Radyoterapi ve radyodiagnostik kliniklerde pratik korunma yöntemi, diagnosik X ışını cihazlarının kurşun bloklar ile lineer hızlandırıcıların betonarme tesisler ile korunmasıdır. Korunma tasarımında ALARA prensipleriyle ağırlık ve maliyet en az değerde tutulmalıdır. Lineer akseleratör tesisleri yapılırken, betonarme korunmanın yanı sıra kurşun gibi ikinci materyalin kullanılıyor olması avantaj olarak görülmektedir. Çünkü bu tür zırhlama işinde fotoelektrik etkiden fazla compton etkisi söz konusu olmaktadır. Yüksek yoğunluk içeren beton ile ikinci materyal beraber kullanıldığı durumda duvar kalınlığı en az ölçüler dahilinde tutulabilmektedir. Saçılan ışınlar değerlendirilirken girişler ve kapılar minimum düzeyde tutulacak bir biçimde düzenlenmelidir. Radyasyon en sık köşelerde saçıldığından, zırhlamada labirent sistemi uygulanmalıdır (Bora, 2001: 96).

Radyasyon kaynağı ile bu kaynağın sebep olduğu doza maruz kalma ihtimali olan kişiler arasına kurşun, tuğla, beton, duvar gibi malzeme konulmasına zırhlama denilmektedir.

Radyasyon dozunu azaltan malzemeye de zırlama malzemesi denir. Zırlama malzemelerinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve gama ışınlarını zırlama özelliği o kadar artar. Zırlama, cihazın zırhlanması ve cihazın bulunduğu odanın zırlaması olarak iki farklı şekilde yapılır.

Cihazın zırlaması kolimatörlerin kullanılması ve de dış koruyucu bilmelerinin takviyesi ile yapılır. Zırlama hesaplamaların yapılmasında malzemelerin belirli radyasyonlara karşı gösterdikleri onuncu tabaka kalınlığının halen değerleri kullanılarak yapılır.

Farklı radyasyonlar için kullanılan zırlama maddeleri ve zırlama işlemleri birbirinden farklıdır. Zırlamanın esası, elektromanyetik veya parçacık radyasyonların doz seviyelerinin, zırlama için kullanılan malzemenin atomları arasından geçerken doğrudan doğruya veya dolaylı olarak iyonizasyon yapmaları ve bu şekilde enerjilerini tamamen veya kısmen kaybederek canlılar için zararsız seviyelere gelmeleridir.

Zırlamanın gerekliliği zırhlanacak radyasyon tipine bağlıdır. Kaynağın aktivitesi, kabul edilebilir doz oranı zırlamada esas alınır. Zırlama malzemesi seçiminde ilk düşünülmesi gereken bireylerin korunmasıdır. Etkili bir zırlama ile radyasyonun zararlı etkilerini en aza düşürebilir. Bununla birlikte ekonomiklik, hafiflik ve boşluklu yapı gibi faktörler zırlama malzemesi seçiminde etkili olurlar (Kaçar, 2006: 26).

Bütün canlılar gerek doğal gerekse yapay olarak meydana gelen iyonizasyon karakterli radyasyonların kaçınılmaz ve sürekli olarak etkisindedir. Bu nedenle radyasyondan korunmak günlük hayatın gereklerinden olmuştur. Bu amaçla ilk belirlenmesi gereken kavram özel şekillerde tarif edilmiş bazı şartlar altında radyasyon ile çalışanların ve bunların dışındaki insanların maruz kalabilecekleri azami doz değerlerini gösteren maksimum izin verilen doz seviyesinin belirlenmesi gerekir. İyonlayıcı etkiye sahip olmayan radyasyonlar belirli bir yüke ve kütleyle sahip oldukları için etkileşime girdikleri maddeler tarafından yutulurlar. Yani bu radyasyonların zırhlanmaları belli bir özellik göstermez. Ancak iyonlayıcı etkiye sahip elektromanyetik radyasyonlar şiddetleri içerisinde belirlenen şartlar için zararlı etkilerini kabul edilebilir seviyelere indirmek için zırhlanmalıdırlar. Kullanılacak zırlama malzemesinin seçimi ve zırlama kalınlığının belirlenmesi; 35 1- Malzemenin kimyasal bileşimi ve malzemenin radyasyon zayıflatma katsayısı 2- Radyasyon enerjisi ve türü (Kaçar, 2006: 34,35).

Radyasyon zırlamasında zırhlanacak mekan ile bağlantılı bulunan diğer mekanların, kullanılacak radyasyon kaynağının özellikleri büyük önem taşır. Zırlama kalınlığı hesabında

zırhlanacak yapı elemanı üzerine gelecek radyasyon ışınının birincil radyasyon ya da ikincil radyasyon olması belirlenmelidir (Kaçar, 2006: 36,37).

2.2. Radyasyon Zırhlama İçin Kullanılan Camlar Hakkında Bilgi

Hem bor hem de silisyum camlarda ağır metal oksit içeriğini arttırmak kütle azaltma katsayısının ve dolayısıyla etkin atom numarasının artmasına neden olmaktadır. Yani camın içeriğindeki ağır metal oksit oranını arttırmak camın radyasyon soğurganlığını arttırmaktadır.

Ağır metal oksitlerden PbO ve Bi₂O₃ içeren camların hemen hemen aynı kütle azaltma katsayısına, etkin atom ve elektron numarasına sahip olduğu görülmüştür. Kurşun oksitin zehirlilik özelliğinden dolayı kullanılmasında çevre ve sağlık açısından sakıncasından dolayı PbO yerine Bi₂O₃ kullanılabilir. Fakat Bi₂O₃ kullanımının maliyeti çok arttırdığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

BaO içeren camların radyasyon soğurganlığı genellikle PbO ve Bi₂O₃ içeren camlara göre oldukça düşüktür. Fakat 40-70 keV enerji aralığında BaO içeren camların kütle azaltma katsayısı ve etkin atom numarası aynı oranda PbO ve Bi₂O₃ içeren camlara göre biraz yüksektir. Bu nedenle 40-70 keV enerji aralığında ve daha düşük seviyelerinde enerji yayan radyoaktif kaynakların bulunduğu ortamlarda radyasyon zırhlamak için PbO veya Bi₂O₃ yerine BaO kullanılabilir.

Hem toksik PbO kullanılmamış olur hem de maliyet oldukça düşer. Daha yüksek enerji seviyelerinde (100 keV-3 MeV) daha yüksek oranda BaO içeren camların bile kütle azaltma katsayısı, daha düşük oranda PbO veya Bi₂O₃ içeren camlara göre çok düşük olduğundan bu enerji aralığında sadece BaO kullanmamak daha uygun olacaktır. PbO veya Bi₂O₃ ile BaO karışımlarını kullanmak her iki enerji aralığındaki radyasyon zırhlamalar için tercih sebebi olabilir.

Fotoelektrik olayın baskın olduğu enerji bölgesinde etkin atom numarası en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Sadece bu bölge içindeki K soğurma kıyısında ani düşüş ve yükselişler görülmektedir. Ağır metal oksit oranını arttırmak kütle azaltma katsayısını arttırdığı gibi etkin atom numarasını da arttırmaktadır fakat etkin elektron numarasını bazı enerji bölgelerinde arttırırken bazılarının da ise düşürmektedir.

Aynı oranda ağır metal içeren silisyum ve bor camlarını karşılaştıracak olursak; düşük enerjilerde bor camlarının yüksek enerjilerde ise silisyum camlarının daha yüksek etkin atom numarasına sahip olduğu görülmektedir. Bor camlarının tüm enerjilerde silisyum camına göre daha yüksek etkin elektron numarasına sahip olması bor elementinden kaynaklanmaktadır.

662 keV'ta aynı oranda ağır metal oksit içeren silisyum ve bor camlarının kütle azaltma katsayısı ve etkin elektron numarası değerlerinde pek farklılık olmamasına karşın etkin atom numaralarında çok önemli değişiklikler olmaktadır. 662 keV'ta bor camları silisyum camlarına göre oldukça düşük etkin elektron numarasına sahiptir. Etkin atom numarasının önemli olduğu durumlarda mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

662 keV'ta camın etkin atom numarası ile cam içerisindeki ağır metal oksit oranı sadece teorikte değil pratikte de lineer ilişkilidir. Kütle azaltma katsayısı ve etkin elektron numarasının teorik ve deneysel verileri arasındaki doğrusallık farkı camın amorfliğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Teorik veriler düzenli yapıya istinaden lineer sonuçlar verirken, deneysel veriler camın amorf yapısından dolayı doğrusal sonuçlar vermemektedir. Bu çalışmada kütle azaltma katsayısına ve etkin elektron numarasına istinaden maddenin düzenli yapıda olup olmadığının bir nevi ispatı da yapılmış olduğu düşünülmektedir.

PbO ve BaO karışım camları geniş enerji bölgesinde radyasyon zırlama amacıyla kullanıldığında cam firmaları tarafından üretilmektedir. Yüksek enerjili radyoaktif kaynakların kullanıldığı işletmeler için ise yüksek oranda PbO içeren camlar tercih edilmektedir. Bi₂O₃ cevheri maliyeti çok yükselttiğinden dolayı cam üretim firmaları tarafından pek kullanılmamaktadır.

Bu tez çalışmasında camların sadece radyasyon soğurma ölçüsüyle alakalı olarak kütle azaltma katsayısı, etkin atom numarası ve etkin elektron numarası parametreleri hesaplanmıştır ve değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında camların fiziksel özelliklerine, bağ yapısına, radyasyona maruziyet sonucu renk değişimine, renk değişimini engellemek için kullanılan seryum, vanadyum gibi elementlere, radyasyonun camın yapısal değişime değinilmemiştir ve bunlar farklı bir tez çalışmasına konu olabilir.

3. METERYAL VE YÖNTEM

GEANT4

GEANT geometry ve tracing kelimelerinin kısaltılmasıyla adlandırılmış, monte carlo programı yardımı ile çalışan, yüksek hızdaki atomik taneciklerin madde içerisinde geçişini ve modellemesini yapan, C++ yazılım dilini kullanan bir simülasyon programıdır. Yüksek enerji ve nükleer fizik ile ilgili çalışmalar için laboratuvar şartlarının günümüzde hala yetersiz ve yaygın olmayışı GEANT simülasyonunun doğmasının en önemli nedenidir , program sayesinde günümüzde birçok bilim insanı ve araştırmacı birbirlerinden çok uzakta veya beraber çalışmaya ve laboratuvar koşullarına ihtiyaç duymadan ; yüksek enerji ve nükleer fizik çalışmalarını yapabilmektedir .

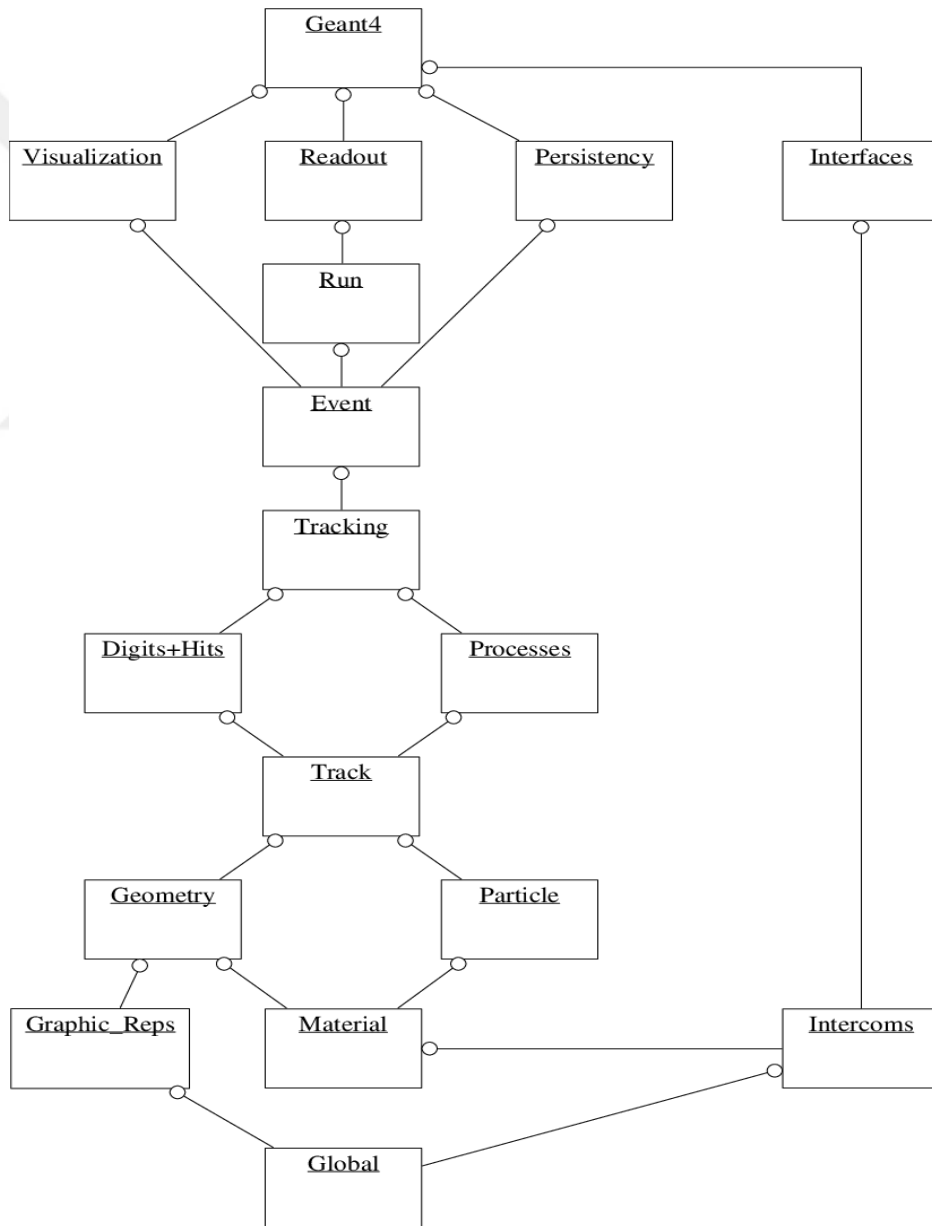
1993 yılında İsviçre' deki CERN'de geliştirilmiş ve yaygın şekilde ilk kullanımına Fortran yazılım dilini kullanan GEANT3 adı verilmiştir .Bu yıldan sonrada geliştirilmeye devam eden program; 1998 yılında kullanılmaya başlayan, C++ yazılım dilini kullanılarak GEANT4 olarak güncellenmiştir .Başlangıçta yüksek enerji ve nükleer fizik alanlarında kullanılan GEANT simülasyonu günümüzde; uzay teknolojileri ,tıp araştırmaları , radyokimya , biyoloji ve astrofizik alanlarında yoğun olarak kullanılmaktadır .Kullanıcılar tarafından hala geliştirilmeye devam eden programa dünyanın birçok yerindeki kullanıcı destek vermekte olup ; bir sorunla karşılaşılması halinde , tüm kullanıcılara açık olan internet tabanlı program bildirme ağı sayesinde gün geçtikçe daha da yaygınlaşmaktadır .İlk sürümlerinde Fortran yazılım dilini kullanan program GEANT4 ile birlikte C++ yazılım dilini kullanmakta olup, programı kullanmak için bu yazılım dillerini bilmek gerekmemektedir .Kullanıcıların işlerini kolaylaştırmak için programın içerisinde ki kütüphanede her türlü bilgi ve formüle rahatlıkla ulaşılabilmektedir .

GEANT4 yapısında kullanılan Monte Carlo yönteminde esas istatistik yöntemler kullanarak bir deneyi matematiksel olarak simüle etmektir, laboratuvar şartlarını ve gerçek deney koşullarını kullanamayan bilim insanları için önemli bir kolaylık sağlayan program geliştirildikçe deney sonuçlarına paralel doğru sonuçlar elde edilmiştir. Olasılık teorisine dahil olan program aslında 1930 lu yıllarda nükleer silah araştırmaları yapan Amerikalı bilim adamlarınca geliştirilip kullanılmaya başlamıştır

GEANT4 simülasyonu ile; parçacığın madde içerisindeki taşınımı, bu taşınma sırasında parçacığın hedef maddenin atom ve çekirdeği ile yaptığı etkileşimler bu birincil etkileşimler

sonucunda ortaya çıkan ikincil parçacıklar bunların enerjileri momentum ve konumları tanımlanabilir ve etkileşimin tüm aşamalarında alınan sonuçlara ve bilgiye erişebilir

GEANT4 programı kullanılarak yaptığımız çalışmada; seçilen 10 farklı kompozit cam kullanılmış olup , bu similasyonda kullanılan kompozit cam malzemelerin kalınlığı 1cm , malzemeye yollanan nötron sayısı 1000000 ,yollanan nötronların enerjisi ise 1MeV olarak belirlenmiştir similasyon sonuçlarında nötronların cam malzemeyle etkileşmesi sonucu ortaya çıkan ikincil radyasyonlar için özellikle yüksek enerjili gamalar değerlendirilmiştir ; değerlendirme sonucunda daha önceden zırh malzemesi olarak patenti alınmış cam kompozitlerle ilgili önermeler geliştirilmiştir.



Şekil 14. GEANT4

3.1. Çalışmada Kullanılan Oksit Bileşikler

Soy gazlar ve halojenler dışındaki elementlerin oksijenle yaptıkları bileşiklere oksitler denilir .Altı çeşit oksit bulunmaktadır bunlar sırasıyla ;asidik oksitler ,bazik oksitler ,peroksitler, anfoter oksitler ,bileşik oksitler ve nötr oksitlerdir .Genelde magnetic ve paramagnetic kayaçlarda sert yapıda mineraller halinde bulunurlar .Aşağıda sırasıyla GEANT4 programıyla simülasyonu yapılmış ;nötronlar tarafından bombardıman edilen radyasyon zırhı olarak kullanılan camlar ve yapısında bulunan oksit bileşikler bulunmaktadır (Donga ve diğ., 2017), (Kaewkhao ve diğ. 2017), (Lakshminarayana ve diğ.), (Saeed ve diğ.), (Sing ve diğ., 2016), (Tekin ve diğ., 2019).

1- TeO_2 =Tellerium di oksit

Tellerium di oksit ; tek başına cam yapabilme yeteğine sahip değildir ;bu yüzden genelde ağır metal oksitler ve alkali oksit gibi ikinci bir bileşiğe az da olsa ihtiyaç duyarak cam yaparlar .Ağır metal oksitler içerisinde yer alır ayrıca , kırıcılık indisiyüksek ,erime noktası düşük, elektriksel iletkenliği yüksektir .Ayrıca kararlı kimyasal yapı ve yüksek kohozyon dayanıklılıklara sahip olduğu için teknolojiye kullanım için uygun bir malzemedir

2- B_2O_3 =Bor oksit

Yüksek nötron yakalama kapasitesine sahip oldukları için günümüzde nükleer teknolojiye yaygınca kullanılmaya başlamıştır ,nükleer santrallerin reactor merkezlerinin çevrelerindeki koruyucu Benton duvarlara katkı malzemesi olarak katıldığı gibi radyasyondan koruma zırhı olarak özellikle tıpta kullanılmaktadır .Nükleer reaktörlerin kalbindeki reactor çubuklarında %2 oranında bor oksit bulunmaktadır

3- Li_2O =Lityum oksit

Cam üretiminde kullanılan ana bileşenlerden olmamakla beraber, katıldığı malzemeye akışkanlık verir.Camın ergitilmesini güçleştirdiği gibi katıldığı malzemelerin dayanımını artırır bu yüzden güvenlik amaçlı yapılan camların içine katkı malzemesiolarak eklenir .Alkali oksitlerden olup genleşme katsayısı digger alkalilere gore oldukça düşüktür

4- ZnO =Çinko oksit

Isıl genleşme katsayısı çok düşük olduğu için cam malzemelerde kullanılmaya başlamıştır , camın suya karşı direncini artırdığı için sızdırmaz cam yapımında sıkça kullanılmaktadır.

5- Al_2O_3 =Alüminyum Oksit

Farklı saflık derecelerinde alümin veya alüminyum oksit (Al_2O_3), en fazla kullanılan gelişmiş olan seramik malzemedir. CeramTec, hedeflenen anayapı tasarımına göre ayarlanabilen farklı özellik profillerine sahip çeşitli malzeme türleri sunmaktadır. Özellikleri şunlardır:

Çok iyi elektrik yalıtımı (1×10^{14} - 1×10^{15} Ω cm), orta-çok yüksek mekanik güç (300-630 MPa), yüksek sertlik (15-19 GPa), çok yüksek sıkıştırma gücü (2000-4000 MPa), iyi kayma özellikleri, düşük yoğunluk (3,75-3,95 g/cm³), Orta derece ısı iletkenliği (20-30 W/mK), biyoetkisiz ve gıda uyumlu, yüksek korozyon ve aşınma direnci, mekanik yük olmadan çalışma sıcaklığı 1000-1500°C., orta derece ısı iletkenliği (20-30 W/mK).

6- K_2O =Potasyum Oksit

Potasyum oksit, dipotasyum oksit olarak da adlandırılır, formülü K olan bir iyonik oksijen ve potasyum tuzudur

7- PbO = Kurşun Oksit

Kurşun oksit, kurşun ve oksijen içeren bir inorganik bileşik grubudur.

Ortak kurşun oksitler şunları içerir:

Molar kütle: 223,2 g/mol

Kaynama noktası: 1.535 °C

Yoğunluk: 9,53 g/cm³

8- Na_2BO_4 =Boraks

Su, oksijen, sodyum ve bor minerallerinin bir araya gelmesi ile oluşan maddenin adına boraks denmektedir. Sağlık alanında, ev temizliğinde ve böcekleri imha etmek amacıyla boraksın kullanım alanı oldukça yaygındır. Aktar ve organik ürün satan dükkanlardan rahatlıkla bulunabilen boraks, özellikle son günlerde evde oyun hamuru yapmak amacıyla tercih edilen maddelerden biri olmuştur.

9- Bi_2O_3 =Bizmut Oksit

Nanoteknoloji laboratuvarların da yüksek hassasiyetle saflık ve tane boyut değerlerine bağlı kalarak üretilen Bi_2O_3 tozları optik ve elektronik uygulamalar için geliştirilmiştir.

Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal Saflık Derecesi > %99.99

Renk: Açık Sarı

Tane Boyutu 1-3 μm

Uygulama alanları Şunlardır:

Optik camlar, varistörler, elektronik malzemeler.

10- MoO₃=Molibden Oksit

Molibden oksit, MoO₃ formüllü kimyasal bileşiktir. Menekşe renkli bir katıdır ve metalik bir iletkenidir. Monoklinik bir hücrede kristalleşir ve bozuk bir rutil (TiO₂) kristal yapısına sahiptir.

11- Na₂O=Sodyum Oksit

Na formülüne sahip inorganik bir bileşiktir. Bütün alkali metal oksitler gibi, kübik merkezli yüzlere karşılık gelen antiflorit gibi kristalimsi bir yapıya sahiptir.

12- BaO₂=Baryum Peroksit

kimyasal formülü BaO olan bir iyonik ve inorganik bileşiktir. İyonik bir bileşik olan Ba iyonlarından oluşur

13- SiO₂=Silisik Asit

Silisik asitler olarak bilinen bir bileşikler ailesinde baskın bir kimyasal bileşiktir.

14- CaO=Kalsiyum Oksit

İyonik formlarda kalsiyum ve oksijen içeren inorganik bir bileşiktir. Dünya çapında kireç olarak bilinir, karbonat, kalsiyum oksit ve hidroksit, ayrıca silikon, alüminyum ve demir gibi diğer metalleri içeren inorganik bir bileşiği tanımlayan bir kelimedir.

15- TiO₂=Titanyum Dioksit

Titanyum dioksit (TiO₂) yeryüzünde doğal olarak bulunan, işlenmiş ve rafine edilmiş mineraldir. Diğer tüketici ürünlerine eklendiği gibi çeşitli gıdalara da eklenmiştir. Beyaz renkli bu madde belirli gıdaların rengini ve parlaklığını arttırmak için kullanılır. Ayrıca gıda güvenliği uygulamaları içinde önemli bir yere sahiptir. Doğal haliyle anataz ve rutil gibi farklı dökme kristal biçiminde bulunur ancak işleme sırasında çok ince toz haline getirilir

16- Er₂O₃=Erbiyum Oksit

Lantanid metal erbiyumdan sentezlenir.Kübik kristal yapıya sahip pembe bir renge sahiptir.Bazı koşullar altında erbiyum oksit ayrıca altıgen formda olabilir.

17- WO₃=Tungsten Trioksit

Safılık: 99,99

Biçim: Küresele yakın.

Ortalama Parçacık boyutu (nm): 55,0

Erime noktası (°C): 1470,0

Kütle yoğunluğu: 1,5

Gerçek yoğunluk: 2,1

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

n1. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
Li ₂ O	37
Si ₂ O	59
Al ₂ O ₃	4

Nükleer reaksiyonlar listesi:

6.7687 MeV	neutron + Al27 --> N gamma + Al28:	1	Q =
140.65 eV	neutron + Al27 --> N gamma + neutron + Al27:	35	Q = -
12.716 eV	neutron + Al27 --> neutron + Al27:	2112	Q =
4.7808 MeV	neutron + Li6 --> alpha + triton:	492	Q =
56.308 eV	neutron + Li6 --> neutron + Li6:	2197	Q =
365.69 eV	neutron + Li7 --> N gamma + neutron + Li7:	4672	Q = -
53.436 eV	neutron + Li7 --> neutron + Li7:	36765	Q =
3.9429 MeV	neutron + O16 --> N gamma + O17:	5	Q =
30.528 eV	neutron + O16 --> neutron + O16:	291340	Q =
1.8188 MeV	neutron + O17 --> alpha + C14:	3	Q =
23.759 eV	neutron + O17 --> neutron + O17:	22	Q =
944.65 keV	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	12	Q = -
3.4281 keV	neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18:	1	Q = -
946.92 keV	neutron + O18 --> alpha + C15:	4	Q = -
6.2995 keV	neutron + O18 --> neutron + O18:	115	Q = -
10.701 MeV	neutron + Si28 --> N gamma + Si29:	7	Q =
11.152 eV	neutron + Si28 --> neutron + Si28:	56078	Q =
10.87 eV	neutron + Si29 --> neutron + Si29:	1280	Q =

neutron + Si30 --> neutron + Si30: 815 Q =
9.0041 eV

Number of gamma: N = 1 --> 5

Üretilen parçacıkların listesi:

Al27:	2147	Emean = 47.922 keV	(13.464 eV -->
139.1 keV)			
Al28:	1	Emean = 43.604 keV	(43.604 keV -->
43.604 keV)			
C14:	3	Emean = 473.42 keV	(331.25 keV -->
664.36 keV)			
C15:	16	Emean = 41.927 keV	(41.852 keV -->
41.993 keV)			
Li6:	2197	Emean = 212.2 keV	(268.71 eV -->
491.72 keV)			
Li7:	41437	Emean = 220.16 keV	(18.855 eV -->
439.89 keV)			
O16:	291340	Emean = 111.19 keV	(0.37257 eV -->
223.64 keV)			
O17:	27	Emean = 86.31 keV	(10.156 keV -->
192.07 keV)			
O18:	116	Emean = 107.12 keV	(1.2594 keV -->
195.49 keV)			
Si28:	56078	Emean = 38.461 keV	(2.7642 eV -->
134.53 keV)			
Si29:	1287	Emean = 38.71 keV	(32.279 eV --> 130
keV)			
Si30:	815	Emean = 36.377 keV	(1.0521 eV -->
126.05 keV)			
alpha:	511	Emean = 2.3323 MeV	(11.161 keV -->
3.3881 MeV)			
gamma:	6391	Emean = 371.35 keV	(1.0001 keV -->
8.4736 MeV)			
neutron:	4708	Emean = 360.17 keV	(74.808 keV -->
510.72 keV)			
triton:	492	Emean = 3.373 MeV	(2.3917 MeV -->
4.1579 MeV)			

Momentum balance: Pmean = 31.321 keV (468.93 eV --> 132.24 keV)

----- Ranecu engine status -----

Initial seed (index) = 0

Current couple of seeds = 142171057, 1574204079

Idle>

n2. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
SiO ₃	81
B ₂ O ₃	13
Na ₂ O	2
K ₂ O	2
Al ₂ O ₃	2

Nükleer reaksiyonlar listesi:

118.48 eV	neutron + Al27 --> N gamma + neutron + Al27:	26	Q = -
12.693 eV	neutron + Al27 --> neutron + Al27:	1166	Q =
2.7904 MeV	neutron + B10 --> N gamma + alpha + Li7:	107	Q =
2.7904 MeV	neutron + B10 --> alpha + Li7:	87	Q =
40.911 eV	neutron + B10 --> neutron + B10:	2113	Q =
36.218 eV	neutron + B11 --> neutron + B11:	6007	Q =
9.74 eV	neutron + K39 --> neutron + K39:	1286	Q =
9.2907 eV	neutron + K41 --> neutron + K41:	112	Q =
197.35 eV	neutron + Na23 --> N gamma + neutron + Na23:	330	Q = -
12.566 eV	neutron + Na23 --> neutron + Na23:	2222	Q =
6.0371 MeV	neutron + O16 --> N gamma + O17:	2	Q =
30.42 eV	neutron + O16 --> neutron + O16:	306371	Q =
1.8188 MeV	neutron + O17 --> alpha + C14:	1	Q =
21.945 eV	neutron + O17 --> neutron + O17:	17	Q =
944.88 keV	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	6	Q = -
946.87 keV	neutron + O18 --> alpha + C15:	1	Q = -
6.0327 keV	neutron + O18 --> neutron + O18:	121	Q = -
10.336 MeV	neutron + Si28 --> N gamma + Si29:	3	Q =
11.2 eV	neutron + Si28 --> neutron + Si28:	82985	Q =
10.672 eV	neutron + Si29 --> neutron + Si29:	1893	Q =
9.1216 eV	neutron + Si30 --> neutron + Si30:	1243	Q =

Number of gamma: N = 1 --> 5

Üretilen parçacıkların listesi:

139.11 keV)	Al27:	1192	Emean = 47.781 keV	(10.205 eV	-->
332.66 keV)	B10:	2113	Emean = 149.24 keV	(85.969 eV	-->
307.65 keV)	B11:	6007	Emean = 146.88 keV	(3.3211 eV	-->
404.02 keV)	C14:	1	Emean = 404.02 keV	(404.02 keV	-->
41.955 keV)	C15:	7	Emean = 41.929 keV	(41.842 keV	-->
98.405 keV)	K39:	1286	Emean = 35.271 keV	(31.212 eV	-->
92.715 keV)	K41:	112	Emean = 35.881 keV	(748.43 eV	-->
1.9426 MeV)	Li7:	194	Emean = 1.2819 MeV	(709.97 keV	-->
160.66 keV)	Na23:	2552	Emean = 51.578 keV	(88.983 eV	-->
223.61 keV)	O16:	306371	Emean = 110.8 keV	(0.81345 eV	-->
197.76 keV)	O17:	19	Emean = 82.008 keV	(14.492 keV	-->
199.79 keV)	O18:	121	Emean = 103 keV	(78.349 eV	-->
134.57 keV)	Si28:	82985	Emean = 38.629 keV	(0.02281 eV	-->
129.69 keV)	Si29:	1896	Emean = 38.029 keV	(0.71792 eV	-->
125.18 keV)	Si30:	1243	Emean = 36.853 keV	(179.11 eV	-->
MeV)	alpha:	202	Emean = 2.1686 MeV	(11.158 keV --> 2.94	
8.4736 MeV)	gamma:	779	Emean = 341.5 keV	(1.0113 keV	-->
557.04 keV)	neutron:	356	Emean = 470.4 keV	(92.921 keV	-->

Momentum balance: Pmean = 33.089 keV (256.65 eV --> 131.61 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1788403602, 974032346

Idle>

n3. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
BaO	20
Bi ₂ O ₃	10
B ₂ O ₃	70

Nükleer reaksiyonlar listesi:

2.7904 MeV	neutron + B10 --> N gamma + alpha + Li7:	804	Q =
0.80356 eV	neutron + B10 --> N gamma + neutron + B10:	1	Q = -
2.7904 MeV	neutron + B10 --> alpha + Li7:	640	Q =
41.063 eV	neutron + B10 --> neutron + B10:	14723	Q =
225.83 keV	neutron + B10 --> proton + Be10:	1	Q =
36.29 eV	neutron + B11 --> neutron + B11:	41938	Q =
6.4202 eV	neutron + Ba130 --> N gamma + neutron + Ba130:	1	Q = -
2.667 eV	neutron + Ba130 --> neutron + Ba130:	8	Q =
2.2218 eV	neutron + Ba132 --> neutron + Ba132:	13	Q =
6.972 MeV	neutron + Ba134 --> N gamma + Ba135:	6	Q =
39.383 eV	neutron + Ba134 --> N gamma + neutron + Ba134:	22	Q = -
2.1255 eV	neutron + Ba134 --> neutron + Ba134:	287	Q =
9.1078 MeV	neutron + Ba135 --> N gamma + Ba136:	16	Q =
9.1078 MeV	neutron + Ba135 --> N gamma + e- + Ba136:	1	Q =
180.26 eV	neutron + Ba135 --> N gamma + neutron + Ba135:	100	Q = -
2.0299 eV	neutron + Ba135 --> neutron + Ba135:	805	Q =
6.9056 MeV	neutron + Ba136 --> N gamma + Ba137:	7	Q =
141.75 eV	neutron + Ba136 --> N gamma + neutron + Ba136:	42	Q = -
2.0521 eV	neutron + Ba136 --> neutron + Ba136:	996	Q =
8.6117 MeV	neutron + Ba137 --> N gamma + Ba138:	4	Q =
486.44 eV	neutron + Ba137 --> N gamma + neutron + Ba137:	49	Q = -
2.0739 eV	neutron + Ba137 --> neutron + Ba137:	1337	Q =
4.7234 MeV	neutron + Ba138 --> N gamma + Ba139:	5	Q =

2.1412 eV	neutron + Ba138 --> neutron + Ba138:	9542	Q =
4.6093 MeV	neutron + Bi209 --> N gamma + Bi210:	1	Q =
28.385 eV	neutron + Bi209 --> N gamma + neutron + Bi209:	55	Q = -
1.767 eV	neutron + Bi209 --> neutron + Bi209:	3502	Q =
4.3481 MeV	neutron + O16 --> N gamma + O17:	4	Q =
30.417 eV	neutron + O16 --> neutron + O16:	429749	Q =
1.8187 MeV	neutron + O17 --> alpha + C14:	1	Q =
25.606 eV	neutron + O17 --> neutron + O17:	26	Q =
944.97 keV	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	11	Q = -
660.87 eV	neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18:	2	Q =
946.92 keV	neutron + O18 --> alpha + C15:	1	Q = -
6.2809 keV	neutron + O18 --> neutron + O18:	136	Q = -

Number of gamma: N = 1 --> 12

Üretilen parçacıkların listesi:

332.78 keV)	B10:	14724	Emean = 149.79 keV	(7.1934 eV -->
307.82 keV)	B11:	41938	Emean = 147.17 keV	(3.8736 eV -->
29.948 keV)	Ba130:	9	Emean = 11.844 keV	(547.55 eV -->
29.883 keV)	Ba132:	13	Emean = 9.3681 keV	(245.13 eV -->
29.55 keV)	Ba134:	309	Emean = 9.3378 keV	(47.678 eV -->
29.463 keV)	Ba135:	911	Emean = 8.8227 keV	(2.0099 eV -->
29.321 keV)	Ba136:	1055	Emean = 8.9727 keV	(0.41829 eV -->
29.077 keV)	Ba137:	1393	Emean = 9.1533 keV	(0.81115 eV -->
28.908 keV)	Ba138:	9546	Emean = 9.6975 keV	(0.27253 eV -->
8.2777 keV)	Ba139:	5	Emean = 7.3506 keV	(6.9433 keV -->
74.281 keV)	Be10:	1	Emean = 74.281 keV	(74.281 keV -->
19.124 keV)	Bi209:	3557	Emean = 8.0312 keV	(1.8762 eV -->
4.6387 keV)	Bi210:	1	Emean = 4.6387 keV	(4.6387 keV -->
keV)	C14:	1	Emean = 675 keV	(675 keV --> 675
41.96 keV)	C15:	12	Emean = 41.89 keV	(41.831 keV -->

```

Li7:      1444  Emean = 1.3067 MeV      ( 705 keV --> 1.9619
MeV)
O16:     429749  Emean = 110.79 keV      ( 0.011096 eV -->
223.55 keV)
O17:         30  Emean = 93.736 keV      ( 958.93 eV -->
204.01 keV)
O18:         138  Emean = 106.82 keV      ( 1.3337 keV -->
197.5 keV)
alpha:    1457  Emean = 2.1995 MeV      ( 11.156 keV -->
2.9478 MeV)
e-:         1  Emean = 818.59 keV      ( 818.59 keV -->
818.59 keV)
gamma:    1997  Emean = 461.7 keV      ( 1.0001 keV -->
7.8943 MeV)
neutron:   272  Emean = 364.34 keV      ( 14.024 keV -->
778.04 keV)
proton:     1  Emean = 1.1515 MeV      ( 1.1515 MeV -->
1.1515 MeV)

```

```

Momentum balance: Pmean = 32.458 keV      ( 1.2025 eV --> 287.87
keV)

```

```

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1835304445, 823392137
-----
Idle>

```

n4. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
BaO	20
Bi ₂ O ₃	10
B ₂ O ₃	70

Nükleer reaksiyonlar listesi:

```

neutron + B10 --> N gamma + alpha + Li7:      798    Q =
2.7904 MeV
neutron + B10 --> N gamma + neutron + B10:      1    Q = -
0.80356 eV
neutron + B10 --> alpha + Li7:      612    Q =
2.7904 MeV
neutron + B10 --> neutron + B10:      14561   Q =
40.761 eV
neutron + B10 --> proton + Be10:         4    Q =
225.82 keV
neutron + B11 --> neutron + B11:      41218   Q =
36.341 eV

```

	neutron + Bi209 --> N gamma + Bi210:	2	Q =
3.6089 MeV			
	neutron + Bi209 --> N gamma + neutron + Bi209:	46	Q = -
26.037 eV			
	neutron + Bi209 --> neutron + Bi209:	3508	Q =
1.7655 eV			
	neutron + O16 --> N gamma + O17:	6	Q =
3.2034 MeV			
	neutron + O16 --> neutron + O16:	419376	Q =
30.323 eV			
	neutron + O17 --> alpha + C14:	1	Q =
1.8188 MeV			
	neutron + O17 --> neutron + O17:	36	Q =
28.299 eV			
	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	10	Q = -
944.81 keV			
	neutron + O18 --> alpha + C15:	2	Q = -
946.91 keV			
	neutron + O18 --> neutron + O18:	148	Q = -
5.8527 keV			
	neutron + Sr84 --> N gamma + Sr85:	2	Q =
9.9953 MeV			
	neutron + Sr84 --> N gamma + neutron + Sr84:	5	Q = -
131.52 eV			
	neutron + Sr84 --> neutron + Sr84:	100	Q =
3.7409 eV			
	neutron + Sr86 --> N gamma + Sr87:	12	Q =
8.4282 MeV			
	neutron + Sr86 --> neutron + Sr86:	1938	Q =
3.6134 eV			
	neutron + Sr87 --> N gamma + Sr88:	3	Q =
11.113 MeV			
	neutron + Sr87 --> N gamma + neutron + Sr87:	8	Q = -
1.4528 eV			
	neutron + Sr87 --> neutron + Sr87:	1387	Q =
3.4104 eV			
	neutron + Sr88 --> N gamma + Sr89:	9	Q =
6.3587 MeV			
	neutron + Sr88 --> neutron + Sr88:	16495	Q =
3.431 eV			

Number of gamma: N = 1 --> 7

Üretilen parçacıkların listesi:

332.85 keV)	B10:	14562	Emean = 148.69 keV	(6.6056 eV -->
307.83 keV)	B11:	41218	Emean = 147.38 keV	(3.8736 eV -->
214.13 keV)	Be10:	4	Emean = 128.67 keV	(94.241 keV -->
19.158 keV)	Bi209:	3554	Emean = 8.0328 keV	(1.3185 eV -->
4.7473 keV)	Bi210:	2	Emean = 4.2979 keV	(3.8484 keV -->
449.53 keV)	C14:	1	Emean = 449.53 keV	(449.53 keV -->
42.027 keV)	C15:	12	Emean = 41.904 keV	(41.838 keV -->

```

Li7:      1410 Emean = 1.3139 MeV      ( 702.77 keV -->
1.9619 MeV)
O16:    419376 Emean = 110.44 keV      ( 0.011096 eV -->
223.64 keV)
O17:       42 Emean = 102.73 keV      ( 958.93 eV -->
207.09 keV)
O18:     148 Emean = 99.927 keV       ( 1.3337 keV -->
196.5 keV)
Sr84:    105 Emean = 14.654 keV       ( 553.64 eV -->
46.557 keV)
Sr85:     2 Emean = 12.064 keV       ( 11.829 keV -->
12.299 keV)
Sr86:   1938 Emean = 14.772 keV      ( 0.87717 eV -->
45.867 keV)
Sr87:   1407 Emean = 14.141 keV      ( 18.141 eV -->
45.302 keV)
Sr88:  16498 Emean = 14.699 keV      ( 0.28615 eV -->
44.916 keV)
Sr89:     9 Emean = 12.3 keV         ( 11.391 keV -->
14.05 keV)
alpha:   1423 Emean = 2.1877 MeV      ( 11.157 keV -->
2.9478 MeV)
gamma:   1662 Emean = 422.54 keV      ( 1.0224 keV -->
12.103 MeV)
neutron: 60 Emean = 165.74 keV       ( 95.972 keV -->
601.46 keV)
proton:  4 Emean = 1.0972 MeV        ( 1.0117 MeV -->
1.1316 MeV)

Momentum balance: Pmean = 32.574 keV ( 3.5894 eV --> 388.34
keV)

```

```

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 255477040, 519292072
-----
Idle>

```

n5. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
GoO ₂	42
Bi ₂ O ₃	8
PbO	40
Bi ₂ O ₃	10

Nükleer reaksiyonlar listesi:

2.7904 MeV	neutron + B10 --> N gamma + alpha + Li7:	109	Q =
2.7904 MeV	neutron + B10 --> alpha + Li7:	80	Q =
40.505 eV	neutron + B10 --> neutron + B10:	2137	Q =
225.82 keV	neutron + B10 --> proton + Be10:	3	Q =
36.431 eV	neutron + B11 --> neutron + B11:	5685	Q =
3.6088 MeV	neutron + Bi209 --> N gamma + Bi210:	1	Q =
51.15 eV	neutron + Bi209 --> N gamma + neutron + Bi209:	61	Q = -
1.7614 eV	neutron + Bi209 --> neutron + Bi209:	4138	Q =
6.3501 eV	neutron + Ge70 --> neutron + Ge70:	52	Q =
139.06 eV	neutron + Ge72 --> N gamma + neutron + Ge72:	18	Q = -
5.0426 eV	neutron + Ge72 --> neutron + Ge72:	81	Q =
195.19 eV	neutron + Ge73 --> N gamma + neutron + Ge73:	4	Q = -
4.4874 eV	neutron + Ge73 --> neutron + Ge73:	22	Q =
147.33 eV	neutron + Ge74 --> N gamma + neutron + Ge74:	22	Q = -
4.2096 eV	neutron + Ge74 --> neutron + Ge74:	92	Q =
186.15 eV	neutron + Ge76 --> N gamma + neutron + Ge76:	4	Q = -
6.147 eV	neutron + Ge76 --> neutron + Ge76:	15	Q =
4.7365 MeV	neutron + O16 --> N gamma + O17:	3	Q =
30.367 eV	neutron + O16 --> neutron + O16:	215574	Q =
1.8188 MeV	neutron + O17 --> alpha + C14:	1	Q =
28.539 eV	neutron + O17 --> neutron + O17:	16	Q =
944.86 keV	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	5	Q = -
946.91 keV	neutron + O18 --> alpha + C15:	2	Q = -
6.4026 keV	neutron + O18 --> neutron + O18:	76	Q = -
2.3291 MeV	neutron + Pb204 --> N gamma + Pb205:	3	Q =
12.322 eV	neutron + Pb204 --> N gamma + neutron + Pb204:	13	Q = -
1.7137 eV	neutron + Pb204 --> neutron + Pb204:	211	Q =
2.4903 MeV	neutron + Pb206 --> N gamma + Pb207:	3	Q =
18.827 eV	neutron + Pb206 --> N gamma + neutron + Pb206:	293	Q = -

	neutron + Pb206 --> Pb207:	1	Q = -
995.13 keV			
	neutron + Pb206 --> neutron + Pb206:	4571	Q =
1.7195 eV			
	neutron + Pb207 --> N gamma + Pb208:	2	Q =
2.7269 MeV			
	neutron + Pb207 --> N gamma + neutron + Pb207:	435	Q =
63.968 keV			
	neutron + Pb207 --> neutron + Pb207:	3760	Q =
1.6691 eV			
	neutron + Pb208 --> neutron + Pb208:	7097	Q =
1.6189 eV			

Number of gamma: N = 1 --> 5

Üretilen parçacıkların listesi:

332.09 keV)	B10:	2137	E _{mean} = 147.76 keV	(16.66 eV	-->
307.82 keV)	B11:	5685	E _{mean} = 147.74 keV	(66.807 eV	-->
275.49 keV)	Be10:	3	E _{mean} = 177 keV	(96.15 keV	-->
19.189 keV)	Bi209:	4199	E _{mean} = 8.0096 keV	(0.76636 eV	-->
4.1476 keV)	Bi210:	1	E _{mean} = 4.1476 keV	(4.1476 keV	-->
419.74 keV)	C14:	1	E _{mean} = 419.74 keV	(419.74 keV	-->
41.942 keV)	C15:	7	E _{mean} = 41.9 keV	(41.817 keV	-->
55.829 keV)	Ge70:	52	E _{mean} = 25.202 keV	(123.18 eV	-->
53.549 keV)	Ge72:	99	E _{mean} = 19.587 keV	(37.995 eV	-->
50.818 keV)	Ge73:	26	E _{mean} = 18.488 keV	(690.84 eV	-->
52.849 keV)	Ge74:	114	E _{mean} = 16.888 keV	(53.182 eV	-->
48.836 keV)	Ge76:	19	E _{mean} = 24.728 keV	(578.54 eV	-->
1.9506 MeV)	Li7:	189	E _{mean} = 1.3228 MeV	(718.66 keV	-->
223.53 keV)	O16:	215574	E _{mean} = 110.6 keV	(0.22319 eV	-->
192.91 keV)	O17:	19	E _{mean} = 103.27 keV	(18.768 keV	-->
198.73 keV)	O18:	76	E _{mean} = 109.32 keV	(6.9751 keV	-->
19.553 keV)	Pb204:	224	E _{mean} = 7.6063 keV	(20.735 eV	-->
5.0511 keV)	Pb205:	3	E _{mean} = 4.9543 keV	(4.8456 keV	-->
19.444 keV)	Pb206:	4864	E _{mean} = 7.7078 keV	(0.5934 eV	-->
19.341 keV)	Pb207:	4199	E _{mean} = 7.4961 keV	(0.71386 eV	-->
19.25 keV)	Pb208:	7099	E _{mean} = 7.4141 keV	(0.65842 eV	-->

alpha: 197 Emean = 2.1158 MeV (11.152 keV -->
 2.9442 MeV)
 gamma: 1157 Emean = 641.92 keV (98.913 eV -->
 4.6046 MeV)
 neutron: 850 Emean = 271.62 keV (92.421 keV -->
 626.84 keV)
 proton: 3 Emean = 1.0488 MeV (950.32 keV -->
 1.1297 MeV)

Momentum balance: Pmean = 37.674 keV (479.17 eV --> 2.9918 MeV)

----- Ranecu engine status -----
 Initial seed (index) = 0
 Current couple of seeds = 1381348553, 1052027161

 Idle>

n6. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
SiO ₂	49,46
Na ₂ O	26,38
CaO	23,08
P ₂ O ₅	1,08

Nükleer reaksiyonlar listesi:

2.7904 MeV	neutron + B10 --> N gamma + alpha + Li7:	723	Q =
2.7904 MeV	neutron + B10 --> alpha + Li7:	517	Q =
40.521 eV	neutron + B10 --> neutron + B10:	12614	Q =
225.82 keV	neutron + B10 --> proton + Be10:	10	Q =
36.293 eV	neutron + B11 --> neutron + B11:	35683	Q =
7.2496 MeV	neutron + Ca40 --> N gamma + Ca41:	5	Q =
10.705 eV	neutron + Ca40 --> neutron + Ca40:	3102	Q =
9.1001 eV	neutron + Ca42 --> neutron + Ca42:	72	Q =
11.275 eV	neutron + Ca43 --> neutron + Ca43:	15	Q =
8.958 eV	neutron + Ca44 --> neutron + Ca44:	180	Q =

8.3147 eV	neutron + Ca48 --> neutron + Ca48:	22	Q =
7.4649 MeV	neutron + Gd152 --> N gamma + Gd153:	1	Q =
51.647 eV	neutron + Gd152 --> N gamma + neutron + Gd152:	8	Q = -
1.4005 eV	neutron + Gd152 --> neutron + Gd152:	20	Q =
9.189 MeV	neutron + Gd154 --> N gamma + Gd155:	12	Q =
17.569 eV	neutron + Gd154 --> N gamma + neutron + Gd154:	72	Q = -
1.5086 eV	neutron + Gd154 --> neutron + Gd154:	190	Q =
8.9521 MeV	neutron + Gd155 --> N gamma + Gd156:	51	Q =
58.692 keV	neutron + Gd155 --> N gamma + neutron + Gd155:	693	Q =
1.2449 eV	neutron + Gd155 --> neutron + Gd155:	1103	Q =
6.5262 MeV	neutron + Gd156 --> N gamma + Gd157:	68	Q =
7.5527 eV	neutron + Gd156 --> N gamma + neutron + Gd156:	679	Q = -
1.5117 eV	neutron + Gd156 --> neutron + Gd156:	1920	Q =
7.4568 MeV	neutron + Gd157 --> N gamma + Gd158:	40	Q =
12.904 keV	neutron + Gd157 --> N gamma + neutron + Gd157:	806	Q =
1.3468 eV	neutron + Gd157 --> neutron + Gd157:	1161	Q =
6.6501 MeV	neutron + Gd158 --> N gamma + Gd159:	46	Q =
9.6087 eV	neutron + Gd158 --> N gamma + neutron + Gd158:	866	Q = -
1.4115 eV	neutron + Gd158 --> neutron + Gd158:	2225	Q =
6.8431 MeV	neutron + Gd160 --> N gamma + Gd161:	18	Q =
13.455 eV	neutron + Gd160 --> N gamma + neutron + Gd160:	783	Q = -
1.5036 eV	neutron + Gd160 --> neutron + Gd160:	1901	Q =
3.2018 MeV	neutron + O16 --> N gamma + O17:	3	Q =
30.35 eV	neutron + O16 --> neutron + O16:	414990	Q =
1.8188 MeV	neutron + O17 --> alpha + C14:	2	Q =
25.677 eV	neutron + O17 --> neutron + O17:	28	Q =
944.91 keV	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	9	Q = -
400.34 eV	neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18:	4	Q =
946.9 keV	neutron + O18 --> alpha + C15:	3	Q = -

6.0736 keV	neutron + O18 --> neutron + O18:	145	Q = -
11.22 eV	neutron + Si28 --> neutron + Si28:	13070	Q =
10.916 eV	neutron + Si29 --> neutron + Si29:	295	Q =
9.9202 eV	neutron + Si30 --> neutron + Si30:	188	Q =

Number of gamma: N = 1 --> 9

Üretilen parçacıkların listesi:

332.82 keV)	B10:	12614	Emean = 147.82 keV	(17.702 eV -->
307.75 keV)	B11:	35683	Emean = 147.18 keV	(2.7855 eV -->
300.15 keV)	Be10:	10	Emean = 166.79 keV	(28.154 keV -->
617.24 keV)	C14:	2	Emean = 511.57 keV	(405.9 keV -->
41.983 keV)	C15:	12	Emean = 41.915 keV	(41.83 keV -->
96.188 keV)	Ca40:	3102	Emean = 38.899 keV	(14.819 eV -->
24.904 keV)	Ca41:	5	Emean = 24.646 keV	(24.515 keV -->
90.477 keV)	Ca42:	72	Emean = 34.701 keV	(257.74 eV -->
89.167 keV)	Ca43:	15	Emean = 44.08 keV	(2.5194 keV -->
87.709 keV)	Ca44:	180	Emean = 35.807 keV	(4.6808 eV -->
78.425 keV)	Ca48:	22	Emean = 36.195 keV	(567.45 eV -->
25.441 keV)	Gd152:	28	Emean = 8.0603 keV	(71.614 eV -->
8.0307 keV)	Gd153:	1	Emean = 8.0307 keV	(8.0307 keV -->
25.71 keV)	Gd154:	262	Emean = 7.9095 keV	(2.9055 eV -->
25.811 keV)	Gd155:	1808	Emean = 7.1722 keV	(0.11447 eV -->
25.565 keV)	Gd156:	2650	Emean = 7.7692 keV	(2.4207 eV -->
25.396 keV)	Gd157:	2035	Emean = 7.5123 keV	(9.9481 eV -->
25.251 keV)	Gd158:	3131	Emean = 7.6726 keV	(0.28781 eV -->
8.8944 keV)	Gd159:	46	Emean = 6.4986 keV	(4.7313 keV -->
24.862 keV)	Gd160:	2684	Emean = 8.1087 keV	(1.6322 eV -->
7.5436 keV)	Gd161:	18	Emean = 6.2717 keV	(4.0558 keV -->
1.9621 MeV)	Li7:	1240	Emean = 1.2931 MeV	(702.77 keV -->
223.6 keV)	O16:	414990	Emean = 110.54 keV	(0.095481 eV -->

```

O17:      31  Emean =  95.432 keV      (  4.3241 keV  -->
206.65 keV)
O18:     149  Emean = 102.76 keV      ( 604.46 eV    -->
199.76 keV)
Si28:   13070 Emean =  38.697 keV      (  8.8847 eV    -->
134.52 keV)
Si29:    295  Emean =   38.9 keV       ( 495.91 eV    -->
129.94 keV)
Si30:    188  Emean =  40.099 keV      (  85.776 eV    -->
125.18 keV)
alpha:   1254  Emean =  2.1979 MeV     ( 11.156 keV   -->
2.9427 MeV)
gamma:   8375  Emean =   418.4 keV     ( 647.8 eV     -->
8.5364 MeV)
neutron: 3911  Emean =  714.42 keV     (  3.8961 keV  -->
945.47 keV)
proton:   10  Emean =   1.059 MeV     ( 925.65 keV   -->
1.1977 MeV)

```

```

Momentum balance: Pmean =  32.545 keV      ( 209.23 eV    --> 8.0867
MeV)

```

```

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1339322715, 2077459855
-----
Idle>

```

n7. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
Na ₂ BO ₄	90
PbO	6
NiO	4

Nükleer reaksiyonlar listesi:

```

neutron + B10 --> N gamma + alpha + Li7:      600  Q =
2.7904 MeV
neutron + B10 --> alpha + Li7:                486  Q =
2.7904 MeV
neutron + B10 --> neutron + B10:             11187  Q =
41.021 eV
neutron + B10 --> proton + Be10:              6  Q =
225.81 keV
neutron + B11 --> N gamma + B12:              1  Q =
2.4545 MeV

```

36.17 eV	neutron + B11 --> neutron + B11:	30865	Q =
10.028 MeV	neutron + Na23 --> N gamma + Na24:	3	Q =
204.11 eV	neutron + Na23 --> N gamma + neutron + Na23:	5232	Q = -
13.005 eV	neutron + Na23 --> neutron + Na23:	33078	Q =
12.013 MeV	neutron + Ni58 --> N gamma + Ni59:	6	Q =
8.3215 eV	neutron + Ni58 --> neutron + Ni58:	1501	Q =
7.8137 eV	neutron + Ni60 --> neutron + Ni60:	155	Q =
2.6665 eV	neutron + Ni61 --> N gamma + neutron + Ni61:	6	Q =
5.7857 eV	neutron + Ni61 --> neutron + Ni61:	16	Q =
6.9555 eV	neutron + Ni62 --> neutron + Ni62:	51	Q =
9.2573 eV	neutron + Ni64 --> neutron + Ni64:	15	Q =
2.5525 MeV	neutron + O16 --> N gamma + O17:	3	Q =
30.465 eV	neutron + O16 --> neutron + O16:	360540	Q =
0.017564 eV	neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17:	1	Q =
1.8188 MeV	neutron + O17 --> alpha + C14:	1	Q =
29.622 eV	neutron + O17 --> neutron + O17:	35	Q =
944.8 keV	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	5	Q = -
946.94 keV	neutron + O18 --> alpha + C15:	2	Q = -
5.9151 keV	neutron + O18 --> neutron + O18:	133	Q = -
14.962 eV	neutron + Pb204 --> N gamma + neutron + Pb204:	2	Q = -
1.2419 eV	neutron + Pb204 --> neutron + Pb204:	18	Q =
22.803 eV	neutron + Pb206 --> N gamma + neutron + Pb206:	28	Q = -
1.6753 eV	neutron + Pb206 --> neutron + Pb206:	490	Q =
67.315 keV	neutron + Pb207 --> N gamma + neutron + Pb207:	40	Q =
1.7402 eV	neutron + Pb207 --> neutron + Pb207:	384	Q =
1.5591 eV	neutron + Pb208 --> neutron + Pb208:	767	Q =

Number of gamma: N = 1 --> 6

Üretilen parçacıkların listesi:

B10: 11187 Emean = 149.65 keV (2.3905 eV --> 332.92 keV)

307.76 keV)	B11:	30865	Emean = 146.68 keV	(11.423 eV -->
84.655 keV)	B12:	1	Emean = 84.655 keV	(84.655 keV -->
359.54 keV)	Be10:	6	Emean = 237.71 keV	(91.161 keV -->
keV)	C14:	1	Emean = 487.5 keV	(487.5 keV --> 487.5
42.006 keV)	C15:	7	Emean = 41.902 keV	(41.863 keV -->
1.9569 MeV)	Li7:	1086	Emean = 1.2976 MeV	(706.19 keV -->
161.2 keV)	Na23:	38310	Emean = 53.16 keV	(2.6197 eV -->
55.249 keV)	Na24:	3	Emean = 52.577 keV	(50.042 keV -->
67.335 keV)	Ni58:	1501	Emean = 30.631 keV	(9.7372 eV -->
26.456 keV)	Ni59:	6	Emean = 20.203 keV	(13.544 keV -->
65.18 keV)	Ni60:	155	Emean = 30.321 keV	(11.661 eV -->
keV)	Ni61:	22	Emean = 19.888 keV	(489.63 eV --> 60
63.031 keV)	Ni62:	51	Emean = 28.632 keV	(592.82 eV -->
60.976 keV)	Ni64:	15	Emean = 37.945 keV	(708.14 eV -->
223.65 keV)	O16:	360540	Emean = 110.96 keV	(0.29967 eV -->
205.23 keV)	O17:	39	Emean = 109.6 keV	(5.6811 keV -->
199.46 keV)	O18:	133	Emean = 100.99 keV	(604.46 eV -->
15.615 keV)	Pb204:	20	Emean = 5.6038 keV	(32.019 eV -->
19.393 keV)	Pb206:	518	Emean = 7.5389 keV	(13.268 eV -->
19.274 keV)	Pb207:	424	Emean = 7.8427 keV	(0.81881 eV -->
19.269 keV)	Pb208:	767	Emean = 7.1353 keV	(1.0164 eV -->
2.9461 MeV)	alpha:	1094	Emean = 2.2148 MeV	(11.164 keV -->
9.9681 MeV)	gamma:	9847	Emean = 280.97 keV	(1.0002 keV -->
964.22 keV)	neutron:	5309	Emean = 495.84 keV	(64.232 keV -->
1.1347 MeV)	proton:	6	Emean = 988.11 keV	(866.26 keV -->

Momentum balance: Pmean = 31.359 keV (429.09 eV --> 306.93 keV)

----- Ranecu engine status -----
 Initial seed (index) = 0
 Current couple of seeds = 783853164, 1342390363

Idle>

n8. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
B ₂ O ₃	75
ZnO	10
Bi ₂ O ₃	15

Nükleer reaksiyonlar listesi:

2.7904 MeV	neutron + B10 --> N gamma + alpha + Li7:	861	Q =
2.7904 MeV	neutron + B10 --> alpha + Li7:	674	Q =
40.721 eV	neutron + B10 --> neutron + B10:	15645	Q =
225.82 keV	neutron + B10 --> proton + Be10:	4	Q =
36.304 eV	neutron + B11 --> neutron + B11:	44383	Q =
3.8094 MeV	neutron + Bi209 --> N gamma + Bi210:	5	Q =
42.883 eV	neutron + Bi209 --> N gamma + neutron + Bi209:	77	Q = -
1.7646 eV	neutron + Bi209 --> neutron + Bi209:	5128	Q =
5.1015 MeV	neutron + O16 --> N gamma + O17:	6	Q =
30.387 eV	neutron + O16 --> neutron + O16:	445057	Q =
1.8187 MeV	neutron + O17 --> alpha + C14:	1	Q =
31.145 eV	neutron + O17 --> neutron + O17:	31	Q =
944.72 keV	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	7	Q = -
946.91 keV	neutron + O18 --> alpha + C15:	2	Q = -
5.9508 keV	neutron + O18 --> neutron + O18:	155	Q = -
10.528 MeV	neutron + Zn64 --> N gamma + Zn65:	18	Q =
6.4841 eV	neutron + Zn64 --> neutron + Zn64:	3584	Q =
9.2909 MeV	neutron + Zn66 --> N gamma + Zn67:	8	Q =

6.1423 eV	neutron + Zn66 --> neutron + Zn66:	2091	Q =
210.38 keV	neutron + Zn67 --> N gamma + neutron + Zn67:	104	Q =
5.549 eV	neutron + Zn67 --> neutron + Zn67:	205	Q =
7.7823 MeV	neutron + Zn68 --> N gamma + Zn69:	6	Q =
5.8832 eV	neutron + Zn68 --> neutron + Zn68:	1382	Q =
23.736 eV	neutron + Zn70 --> N gamma + neutron + Zn70:	6	Q = -
4.7628 eV	neutron + Zn70 --> neutron + Zn70:	49	Q =

Number of gamma: N = 1 --> 5

Üretilen parçacıkların listesi:

332.78 keV)	B10:	15645	Emean = 148.55 keV	(16.583 eV -->
307.83 keV)	B11:	44383	Emean = 147.23 keV	(8.0518 eV -->
339.31 keV)	Be10:	4	Emean = 192.69 keV	(122.27 keV -->
19.142 keV)	Bi209:	5205	Emean = 8.0246 keV	(0.84043 eV -->
keV)	Bi210:	5	Emean = 4.7073 keV	(4.417 keV --> 5.096
646.57 keV)	C14:	1	Emean = 646.57 keV	(646.57 keV -->
41.938 keV)	C15:	9	Emean = 41.91 keV	(41.886 keV -->
1.9594 MeV)	Li7:	1535	Emean = 1.3063 MeV	(700.56 keV -->
223.57 keV)	O16:	445057	Emean = 110.68 keV	(0.075413 eV -->
204.75 keV)	O17:	37	Emean = 111.75 keV	(3.7624 keV -->
199.75 keV)	O18:	155	Emean = 101.6 keV	(4.1258 keV -->
61.198 keV)	Zn64:	3584	Emean = 25.058 keV	(7.6566 eV -->
23.244 keV)	Zn65:	18	Emean = 15.983 keV	(10.695 keV -->
59.417 keV)	Zn66:	2091	Emean = 24.529 keV	(4.2479 eV -->
58.352 keV)	Zn67:	317	Emean = 22.377 keV	(36.715 eV -->
57.59 keV)	Zn68:	1382	Emean = 24.26 keV	(4.8577 eV -->
16.913 keV)	Zn69:	6	Emean = 14.389 keV	(11.582 keV -->
55.663 keV)	Zn70:	55	Emean = 19.451 keV	(86.803 eV -->
2.9441 MeV)	alpha:	1545	Emean = 2.2031 MeV	(11.17 keV -->
8.9672 MeV)	gamma:	1982	Emean = 485.75 keV	(1.2206 eV -->

neutron: 187 Emean = 305.87 keV (4.9225 keV -->
899.88 keV)
proton: 4 Emean = 1.0331 MeV (886.49 keV -->
1.1036 MeV)

Momentum balance: Pmean = 31.543 keV (264.38 eV --> 334.53 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1628813574, 1185299377

Idle>

n9. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
TeO ₂	66
B ₂ O ₂	10
MoO ₃	10
ZnO	10
Li ₂ O	10

Nükleer reaksiyonlar listesi:

2.7904 MeV	neutron + B10 --> N gamma + alpha + Li7:	156	Q =
2.7904 MeV	neutron + B10 --> alpha + Li7:	110	Q =
39.828 eV	neutron + B10 --> neutron + B10:	2725	Q =
36.213 eV	neutron + B11 --> neutron + B11:	7897	Q =
4.7807 MeV	neutron + Li6 --> alpha + triton:	258	Q =
56.544 eV	neutron + Li6 --> neutron + Li6:	1142	Q =
363.34 eV	neutron + Li7 --> N gamma + neutron + Li7:	2251	Q = -
53.591 eV	neutron + Li7 --> neutron + Li7:	18071	Q =
5.3983 MeV	neutron + Mo100 --> N gamma + 2 e- + Mo101:	1	Q =
205.95 eV	neutron + Mo100 --> N gamma + neutron + Mo100:	141	Q = -
2.6741 eV	neutron + Mo100 --> neutron + Mo100:	858	Q =

7.0811 MeV	neutron + Mo92 --> N gamma + Mo93:	6	Q =
3.3548 eV	neutron + Mo92 --> neutron + Mo92:	1544	Q =
6.3809 MeV	neutron + Mo94 --> N gamma + Mo95:	7	Q =
153.15 eV	neutron + Mo94 --> N gamma + neutron + Mo94:	61	Q = -
3.0814 eV	neutron + Mo94 --> neutron + Mo94:	853	Q =
10.207 MeV	neutron + Mo95 --> N gamma + Mo96:	20	Q =
66.067 eV	neutron + Mo95 --> N gamma + neutron + Mo95:	291	Q = -
2.8311 eV	neutron + Mo95 --> neutron + Mo95:	1315	Q =
5.8309 MeV	neutron + Mo96 --> N gamma + Mo97:	6	Q =
85.789 eV	neutron + Mo96 --> N gamma + neutron + Mo96:	182	Q = -
2.8909 eV	neutron + Mo96 --> neutron + Mo96:	1391	Q =
7.6538 MeV	neutron + Mo97 --> N gamma + Mo98:	6	Q =
375.5 eV	neutron + Mo97 --> N gamma + neutron + Mo97:	210	Q = -
2.6764 eV	neutron + Mo97 --> neutron + Mo97:	743	Q =
4.9352 MeV	neutron + Mo98 --> N gamma + Mo99:	12	Q =
106.73 eV	neutron + Mo98 --> N gamma + neutron + Mo98:	346	Q = -
2.654 eV	neutron + Mo98 --> neutron + Mo98:	1990	Q =
2.545 MeV	neutron + O16 --> N gamma + O17:	5	Q =
30.414 eV	neutron + O16 --> neutron + O16:	320336	Q =
1.8187 MeV	neutron + O17 --> alpha + C14:	1	Q =
32.789 eV	neutron + O17 --> neutron + O17:	20	Q =
944.74 keV	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	8	Q = -
904.19 eV	neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18:	2	Q = -
946.88 keV	neutron + O18 --> alpha + C15:	2	Q = -
6.5163 keV	neutron + O18 --> neutron + O18:	106	Q = -
7.2474 MeV	neutron + Te120 --> N gamma + Te121:	2	Q =
54.575 eV	neutron + Te120 --> N gamma + neutron + Te120:	6	Q = -
2.3012 eV	neutron + Te120 --> neutron + Te120:	45	Q =
6.929 MeV	neutron + Te122 --> N gamma + Te123:	16	Q =

24.911 eV	neutron + Te122 --> N gamma + neutron + Te122:	117	Q = -
2.1775 eV	neutron + Te122 --> neutron + Te122:	1222	Q =
9.4245 MeV	neutron + Te123 --> N gamma + Te124:	12	Q =
216.95 eV	neutron + Te123 --> N gamma + neutron + Te123:	104	Q = -
1.8168 eV	neutron + Te123 --> neutron + Te123:	370	Q =
6.569 MeV	neutron + Te124 --> N gamma + Te125:	10	Q =
6.569 MeV	neutron + Te124 --> N gamma + e- + Te125:	12	Q =
62.883 eV	neutron + Te124 --> N gamma + neutron + Te124:	195	Q = -
2.1017 eV	neutron + Te124 --> neutron + Te124:	2261	Q =
9.1137 MeV	neutron + Te125 --> N gamma + Te126:	27	Q =
259.95 eV	neutron + Te125 --> N gamma + neutron + Te125:	752	Q = -
1.8836 eV	neutron + Te125 --> neutron + Te125:	3029	Q =
6.2877 MeV	neutron + Te126 --> N gamma + Te127:	40	Q =
6.2877 MeV	neutron + Te126 --> N gamma + e- + Te127:	9	Q =
49.615 eV	neutron + Te126 --> N gamma + neutron + Te126:	781	Q = -
2.0448 eV	neutron + Te126 --> neutron + Te126:	9214	Q =
6.0824 MeV	neutron + Te128 --> N gamma + Te129:	49	Q =
6.0824 MeV	neutron + Te128 --> N gamma + e- + Te129:	3	Q =
63.789 eV	neutron + Te128 --> N gamma + neutron + Te128:	1215	Q = -
2.0107 eV	neutron + Te128 --> neutron + Te128:	15665	Q =
5.9294 MeV	neutron + Te130 --> N gamma + Te131:	9	Q =
82.888 eV	neutron + Te130 --> N gamma + neutron + Te130:	886	Q = -
2.014 eV	neutron + Te130 --> neutron + Te130:	18367	Q =
13.763 MeV	neutron + Zn64 --> N gamma + Zn65:	39	Q =
3.8714 MeV	neutron + Zn64 --> alpha + Ni61:	5	Q =
6.488 eV	neutron + Zn64 --> neutron + Zn64:	4867	Q =
11.335 MeV	neutron + Zn66 --> N gamma + Zn67:	18	Q =
6.1432 eV	neutron + Zn66 --> neutron + Zn66:	2778	Q =
21.939 MeV	neutron + Zn67 --> N gamma + Zn68:	1	Q =

209.52 keV	neutron + Zn67 --> N gamma + neutron + Zn67:	127	Q =
5.5009 eV	neutron + Zn67 --> neutron + Zn67:	266	Q =
15.754 MeV	neutron + Zn68 --> N gamma + Zn69:	3	Q =
6.0374 eV	neutron + Zn68 --> neutron + Zn68:	1862	Q =
126.35 keV	neutron + Zn70 --> N gamma + neutron + Zn70:	7	Q =
5.2845 eV	neutron + Zn70 --> neutron + Zn70:	57	Q =

Number of gamma: N = 1 --> 12

Üretilen parçacıkların listesi:

332.83 keV)	B10:	2725	E _{mean} = 145.29 keV	(129.43 eV -->
307.91 keV)	B11:	7897	E _{mean} = 146.85 keV	(14.855 eV -->
650.96 keV)	C14:	1	E _{mean} = 650.96 keV	(650.96 keV -->
41.987 keV)	C15:	10	E _{mean} = 41.938 keV	(41.858 keV -->
490.33 keV)	Li6:	1142	E _{mean} = 213.1 keV	(179.38 eV -->
1.9607 MeV)	Li7:	20588	E _{mean} = 234.89 keV	(111.85 eV -->
39.404 keV)	Mo100:	999	E _{mean} = 12.061 keV	(24.926 eV -->
10.882 keV)	Mo101:	1	E _{mean} = 10.882 keV	(10.882 keV -->
42.877 keV)	Mo92:	1544	E _{mean} = 13.29 keV	(0.33568 eV -->
15.296 keV)	Mo93:	6	E _{mean} = 11.243 keV	(7.6979 keV -->
42.025 keV)	Mo94:	914	E _{mean} = 12.442 keV	(5.4104 eV -->
41.417 keV)	Mo95:	1613	E _{mean} = 12.139 keV	(9.4039 eV -->
41.233 keV)	Mo96:	1593	E _{mean} = 11.98 keV	(1.1494 eV -->
40.824 keV)	Mo97:	959	E _{mean} = 11.706 keV	(9.8912 eV -->
40.443 keV)	Mo98:	2342	E _{mean} = 11.33 keV	(0.70229 eV -->
12.887 keV)	Mo99:	12	E _{mean} = 9.7727 keV	(7.6409 keV -->
426.99 keV)	Ni61:	5	E _{mean} = 336.05 keV	(269.83 keV -->
223.6 keV)	O16:	320336	E _{mean} = 110.78 keV	(0.073622 eV -->
209.19 keV)	O17:	25	E _{mean} = 112.86 keV	(3.8083 keV -->
196.78 keV)	O18:	108	E _{mean} = 110.09 keV	(1.0896 keV -->
32.801 keV)	Te120:	51	E _{mean} = 10.358 keV	(608.65 eV -->

```

    Te121:      2  Emean =  8.8294 keV      ( 8.4521 keV -->
9.2068 keV)
    Te122:    1339  Emean =  9.4099 keV      ( 3.731 eV -->
32.625 keV)
    Te123:     490  Emean =  8.7816 keV      ( 1.3342 eV -->
32.336 keV)
    Te124:    2468  Emean =  9.0735 keV      ( 2.8222 eV -->
32.073 keV)
    Te125:    3803  Emean =  9.1898 keV      ( 0.11607 eV -->
31.842 keV)
    Te126:   10022  Emean =   9.267 keV      ( 0.52122 eV -->
31.614 keV)
    Te127:     49  Emean =  8.1619 keV      ( 5.7207 keV -->
9.8422 keV)
    Te128:   16880  Emean =  9.1873 keV      ( 0.61266 eV -->
31.142 keV)
    Te129:     52  Emean =  7.7875 keV      ( 6.415 keV -->
10.385 keV)
    Te130:   19253  Emean =   9.131 keV      ( 2.4563 eV -->
30.644 keV)
    Te131:     9  Emean =   8.124 keV      ( 6.7071 keV -->
9.737 keV)
    Zn64:    4867  Emean =  25.076 keV      ( 3.8478 eV -->
61.285 keV)
    Zn65:     39  Emean =  16.008 keV      ( 6.9416 keV -->
22.941 keV)
    Zn66:    2778  Emean =  24.529 keV      ( 7.8726 eV -->
59.453 keV)
    Zn67:     411  Emean =  21.449 keV      ( 89.934 eV -->
58.415 keV)
    Zn68:    1863  Emean =  24.896 keV      ( 3.6404 eV -->
57.741 keV)
    Zn69:      3  Emean =  16.124 keV      ( 14.745 keV -->
18.203 keV)
    Zn70:     64  Emean =  21.837 keV      ( 125.19 eV -->
55.701 keV)
    alpha:    540  Emean =  2.2895 MeV      ( 11.162 keV -->
4.6016 MeV)
    e-:       26  Emean =  73.737 keV      ( 13.52 keV -->
263.02 keV)
    gamma:   12034  Emean =  638.42 keV      ( 1.8496 eV -->
8.9662 MeV)
    neutron:  7674  Emean =  332.01 keV      ( 3.4754 keV -->
964.11 keV)
    triton:   258  Emean =  3.3392 MeV      ( 2.3934 MeV -->
4.1538 MeV)

```

```

Momentum balance: Pmean =  39.259 keV      ( 1.0807 eV --> 293.86
keV)

```

```

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 108304184, 2123344323
-----
Idle>

```

n10. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
B ₂ O ₃	55
Li ₂ O	1
M ₉ O ₃	5
ZnO	5
Na ₂ O	14
BaO ₂	20

Nükleer reaksiyonlar listesi:

2.7904 MeV	neutron + B10 --> N gamma + alpha + Li7:	597	Q =
965.89 eV	neutron + B10 --> N gamma + neutron + B10:	3	Q = -
2.7904 MeV	neutron + B10 --> alpha + Li7:	453	Q =
41.001 eV	neutron + B10 --> neutron + B10:	10605	Q =
225.83 keV	neutron + B10 --> proton + Be10:	1	Q =
36.017 eV	neutron + B11 --> neutron + B11:	29902	Q =
7.4935 MeV	neutron + Ba130 --> N gamma + e- + Ba131:	1	Q =
0.0024053 eV	neutron + Ba130 --> N gamma + neutron + Ba130:	3	Q = -
1.7532 eV	neutron + Ba130 --> neutron + Ba130:	17	Q =
219.46 eV	neutron + Ba132 --> N gamma + neutron + Ba132:	1	Q = -
1.8579 eV	neutron + Ba132 --> neutron + Ba132:	11	Q =
6.972 MeV	neutron + Ba134 --> N gamma + Ba135:	6	Q =
27.423 eV	neutron + Ba134 --> N gamma + neutron + Ba134:	18	Q = -
1.9364 eV	neutron + Ba134 --> neutron + Ba134:	253	Q =
9.1078 MeV	neutron + Ba135 --> N gamma + Ba136:	15	Q =
183.89 eV	neutron + Ba135 --> N gamma + neutron + Ba135:	70	Q = -
1.8222 eV	neutron + Ba135 --> neutron + Ba135:	751	Q =
6.9056 MeV	neutron + Ba136 --> N gamma + Ba137:	3	Q =

	neutron + Ba136 --> N gamma + e- + Ba137:	1	Q =
6.9056 MeV			
	neutron + Ba136 --> N gamma + neutron + Ba136:	38	Q = -
148.91 eV			
	neutron + Ba136 --> neutron + Ba136:	879	Q =
2.0294 eV			
	neutron + Ba137 --> N gamma + Ba138:	2	Q =
8.6117 MeV			
	neutron + Ba137 --> N gamma + neutron + Ba137:	54	Q = -
481.99 eV			
	neutron + Ba137 --> neutron + Ba137:	1341	Q =
2.0396 eV			
	neutron + Ba138 --> N gamma + Ba139:	1	Q =
4.7234 MeV			
	neutron + Ba138 --> neutron + Ba138:	8829	Q =
2.1383 eV			
	neutron + Li6 --> alpha + triton:	14	Q =
4.7809 MeV			
	neutron + Li6 --> neutron + Li6:	79	Q =
57.119 eV			
	neutron + Li7 --> N gamma + neutron + Li7:	160	Q = -
317.58 eV			
	neutron + Li7 --> neutron + Li7:	1194	Q =
55.414 eV			
	neutron + Mg24 --> neutron + Mg24:	3483	Q =
17.079 eV			
	neutron + Mg25 --> N gamma + neutron + Mg25:	15	Q = -
215.85 eV			
	neutron + Mg25 --> neutron + Mg25:	629	Q =
15.802 eV			
	neutron + Mg26 --> neutron + Mg26:	745	Q =
14.885 eV			
	neutron + Na23 --> N gamma + Na24:	1	Q =
8.0914 MeV			
	neutron + Na23 --> N gamma + neutron + Na23:	2886	Q = -
207.28 eV			
	neutron + Na23 --> neutron + Na23:	18274	Q =
13.079 eV			
	neutron + O16 --> N gamma + O17:	4	Q =
4.6732 MeV			
	neutron + O16 --> neutron + O16:	365484	Q =
30.459 eV			
	neutron + O17 --> alpha + C14:	1	Q =
1.8188 MeV			
	neutron + O17 --> neutron + O17:	19	Q =
25.494 eV			
	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	5	Q = -
944.85 keV			
	neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18:	1	Q = -
1.2414 keV			
	neutron + O18 --> alpha + C15:	1	Q = -
946.87 keV			
	neutron + O18 --> neutron + O18:	124	Q = -
6.1345 keV			
	neutron + Zn64 --> N gamma + Zn65:	9	Q =
13.403 MeV			
	neutron + Zn64 --> alpha + Ni61:	1	Q =
3.8715 MeV			

6.5287 eV	neutron + Zn64 --> neutron + Zn64:	1670	Q =
23.78 MeV	neutron + Zn66 --> N gamma + Zn67:	3	Q =
5.9133 eV	neutron + Zn66 --> neutron + Zn66:	987	Q =
90.425 keV	neutron + Zn67 --> N gamma + neutron + Zn67:	44	Q =
5.7324 eV	neutron + Zn67 --> neutron + Zn67:	87	Q =
9.0866 MeV	neutron + Zn68 --> N gamma + Zn69:	2	Q =
5.999 eV	neutron + Zn68 --> neutron + Zn68:	610	Q =
0.0030382 eV	neutron + Zn70 --> N gamma + neutron + Zn70:	1	Q =
6.2263 eV	neutron + Zn70 --> neutron + Zn70:	23	Q =

Number of gamma: N = 1 --> 12

Üretilen parçacıkların listesi:

332.91 keV)	B10:	10608	Emean = 149.56 keV	(28.517 eV -->
307.8 keV)	B11:	29902	Emean = 146.06 keV	(2.9858 eV -->
26.518 keV)	Ba130:	20	Emean = 7.9243 keV	(2.5995 eV -->
7.8924 keV)	Ba131:	1	Emean = 7.8924 keV	(7.8924 keV -->
26.16 keV)	Ba132:	12	Emean = 8.0426 keV	(16.317 eV -->
29.699 keV)	Ba134:	271	Emean = 8.4999 keV	(8.7209 eV -->
29.44 keV)	Ba135:	827	Emean = 7.9795 keV	(6.6409 eV -->
29.252 keV)	Ba136:	932	Emean = 8.8758 keV	(1.5157 eV -->
29.052 keV)	Ba137:	1399	Emean = 9.0051 keV	(4.6691 eV -->
28.874 keV)	Ba138:	8831	Emean = 9.6832 keV	(0.99966 eV -->
6.0363 keV)	Ba139:	1	Emean = 6.0363 keV	(6.0363 keV -->
73.114 keV)	Be10:	1	Emean = 73.114 keV	(73.114 keV -->
596.03 keV)	C14:	1	Emean = 596.03 keV	(596.03 keV -->
41.963 keV)	C15:	6	Emean = 41.911 keV	(41.837 keV -->
483.93 keV)	Li6:	79	Emean = 215.26 keV	(291.83 eV -->
1.9601 MeV)	Li7:	2404	Emean = 696.7 keV	(975.55 eV -->
keV)	Mg24:	3483	Emean = 62.128 keV	(5.6798 eV --> 155
148.71 keV)	Mg25:	644	Emean = 59.82 keV	(297.19 eV -->

```

Mg26:      745  Emean = 58.554 keV      ( 118.93 eV  -->
143.68 keV)
Na23:     21160  Emean = 53.299 keV      ( 0.077274 eV  -->
161 keV)
Na24:         1  Emean = 39.538 keV      ( 39.538 keV  -->
39.538 keV)
Ni61:         1  Emean = 223.75 keV      ( 223.75 keV  -->
223.75 keV)
O16:    365484  Emean = 110.94 keV      ( 0.062508 eV  -->
223.66 keV)
O17:         23  Emean = 91.802 keV      ( 3.57 keV --> 205.23
keV)
O18:         125  Emean = 104.38 keV      ( 1.6708 keV  -->
198.12 keV)
Zn64:     1670  Emean = 25.232 keV      ( 13.39 eV  -->
61.205 keV)
Zn65:         9  Emean = 18.115 keV      ( 13.609 keV  -->
22.032 keV)
Zn66:     987  Emean = 23.607 keV      ( 6.4286 eV  -->
59.371 keV)
Zn67:     134  Emean = 22.403 keV      ( 29.214 eV  -->
57.63 keV)
Zn68:     610  Emean = 24.736 keV      ( 12.7 eV --> 57.691
keV)
Zn69:         2  Emean = 16.061 keV      ( 13.65 keV  -->
18.471 keV)
Zn70:         24  Emean = 25.669 keV      ( 1.9949 keV  -->
55.183 keV)
alpha:    1072  Emean = 2.2081 MeV      ( 11.157 keV  -->
4.6477 MeV)
e-:         2  Emean = 191.53 keV      ( 99.54 keV  -->
283.52 keV)
gamma:    6555  Emean = 349.04 keV      ( 18.328 eV  -->
8.7513 MeV)
neutron:  3294  Emean = 488.32 keV      ( 11.979 keV  -->
906.11 keV)
proton:         1  Emean = 1.1527 MeV      ( 1.1527 MeV  -->
1.1527 MeV)
triton:    14  Emean = 3.4781 MeV      ( 2.9631 MeV --> 4.13
MeV)

Momentum balance: Pmean = 32.646 keV      ( 2.9713 eV  --> 270.43
keV)

```

```

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1964770494, 1236246022
-----
Idle>

```

n11. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
Bi ₂ O ₂	49,46
Na ₂ O	26,38
CaO	23,08
P ₂ O ₅	1,08

Nükleer reaksiyonlar listesi:

6.6338 MeV	neutron + Ca40 --> N gamma + Ca41:	6	Q =
10.417 eV	neutron + Ca40 --> neutron + Ca40:	6235	Q =
9.8773 eV	neutron + Ca42 --> neutron + Ca42:	106	Q =
0.027916 eV	neutron + Ca43 --> N gamma + neutron + Ca43:	3	Q = -
9.7278 eV	neutron + Ca43 --> neutron + Ca43:	23	Q =
8.5987 eV	neutron + Ca44 --> neutron + Ca44:	371	Q =
6.5549 eV	neutron + Ca48 --> neutron + Ca48:	41	Q =
8.3367 MeV	neutron + Na23 --> N gamma + Na24:	4	Q =
198.45 eV	neutron + Na23 --> N gamma + neutron + Na23:	5013	Q = -
13.071 eV	neutron + Na23 --> neutron + Na23:	32315	Q =
3.2006 MeV	neutron + O16 --> N gamma + O17:	1	Q =
30.335 eV	neutron + O16 --> neutron + O16:	256255	Q =
1.8188 MeV	neutron + O17 --> alpha + C14:	1	Q =
25.124 eV	neutron + O17 --> neutron + O17:	18	Q =
944.55 keV	neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	4	Q = -
1.7853 keV	neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18:	1	Q =
946.91 keV	neutron + O18 --> alpha + C15:	2	Q = -
6.0291 keV	neutron + O18 --> neutron + O18:	107	Q = -
11.582 eV	neutron + P31 --> neutron + P31:	1045	Q =
7.901 MeV	neutron + Si28 --> N gamma + Si29:	9	Q =
11.208 eV	neutron + Si28 --> neutron + Si28:	53677	Q =
10.375 eV	neutron + Si29 --> neutron + Si29:	1187	Q =
8.3928 eV	neutron + Si30 --> neutron + Si30:	788	Q =

Number of gamma: N = 1 --> 5

Üretilen parçacıkların listesi:

508.89 keV)	C14:	1	Emean = 508.89 keV	(508.89 keV -->
keV)	C15:	6	Emean = 41.912 keV	(41.8 keV --> 41.99
96.149 keV)	Ca40:	6235	Emean = 37.845 keV	(1.0622 eV -->
24.72 keV)	Ca41:	6	Emean = 24.639 keV	(24.492 keV -->
91.456 keV)	Ca42:	106	Emean = 37.645 keV	(41.72 eV -->
81.905 keV)	Ca43:	26	Emean = 35.469 keV	(2.1922 keV -->
87.658 keV)	Ca44:	371	Emean = 34.368 keV	(57.556 eV -->
78.597 keV)	Ca48:	41	Emean = 28.482 keV	(87.887 eV -->
161.15 keV)	Na23:	37328	Emean = 53.471 keV	(5.0979 eV -->
42.956 keV)	Na24:	4	Emean = 40.752 keV	(38.974 keV -->
223.58 keV)	O16:	256255	Emean = 110.49 keV	(0.20635 eV -->
206.65 keV)	O17:	19	Emean = 95.163 keV	(6.0685 keV -->
199.07 keV)	O18:	108	Emean = 102.37 keV	(437.24 eV -->
122.11 keV)	P31:	1045	Emean = 41.876 keV	(3.2419 eV -->
134.58 keV)	Si28:	53677	Emean = 38.655 keV	(0.18148 eV -->
130.01 keV)	Si29:	1196	Emean = 36.95 keV	(22.619 eV -->
124.57 keV)	Si30:	788	Emean = 33.892 keV	(84.405 eV -->
2.3099 MeV)	alpha:	7	Emean = 339.56 keV	(11.148 keV -->
8.4736 MeV)	gamma:	8387	Emean = 282.97 keV	(1.0016 keV -->
619.84 keV)	neutron:	5017	Emean = 497.68 keV	(86.581 keV -->

Momentum balance: Pmean = 33.659 keV (247.6 eV --> 10.224 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 824420772, 258042165

Idle>

n12. kodu cam örneği

cam kalınlığı = 1 cm

cama yollanan nötron (n) sayısı = 1.000.000

cam içeriğindeki bileşikler - yüzdeleri

Bileşik Adı	Yüzdesi
TaO ₂	80
Ti O ₂	5
Rr ₂ O ₅	5
WO ₃	10

Nükleer reaksiyonlar listesi:

neutron + Er162 --> N gamma + neutron + Er162:	1	Q =
0.082596 eV		
neutron + Er162 --> neutron + Er162:	8	Q =
1.348 eV		
neutron + Er164 --> N gamma + Er165:	3	Q =
6.6564 MeV		
neutron + Er164 --> N gamma + neutron + Er164:	17	Q = -
7.2241 eV		
neutron + Er164 --> neutron + Er164:	67	Q =
1.2015 eV		
neutron + Er166 --> N gamma + Er167:	28	Q =
6.4426 MeV		
neutron + Er166 --> N gamma + neutron + Er166:	402	Q = -
16.513 eV		
neutron + Er166 --> neutron + Er166:	1248	Q =
1.2918 eV		
neutron + Er167 --> N gamma + Er168:	11	Q =
7.7772 MeV		
neutron + Er167 --> N gamma + neutron + Er167:	405	Q = -
179.59 eV		
neutron + Er167 --> neutron + Er167:	738	Q =
1.104 eV		
neutron + Er168 --> N gamma + Er169:	9	Q =
5.8983 MeV		
neutron + Er168 --> N gamma + neutron + Er168:	347	Q = -
14.482 eV		
neutron + Er168 --> neutron + Er168:	1023	Q =
1.279 eV		
neutron + Er170 --> N gamma + Er171:	5	Q =
5.6877 MeV		
neutron + Er170 --> N gamma + neutron + Er170:	208	Q = -
10.704 eV		
neutron + Er170 --> neutron + Er170:	565	Q =
1.4105 eV		
neutron + O16 --> N gamma + O17:	1	Q =
7.3338 MeV		
neutron + O16 --> neutron + O16:	278099	Q =
30.497 eV		
neutron + O17 --> neutron + O17:	9	Q =
29.355 eV		
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15:	4	Q = -
945.24 keV		

946.92 keV	neutron + O18 --> alpha + C15:	1	Q = -
5.8758 keV	neutron + O18 --> neutron + O18:	109	Q = -
7.2474 MeV	neutron + Te120 --> N gamma + Te121:	3	Q =
35.496 eV	neutron + Te120 --> N gamma + neutron + Te120:	8	Q = -
2.3948 eV	neutron + Te120 --> neutron + Te120:	47	Q =
6.929 MeV	neutron + Te122 --> N gamma + Te123:	38	Q =
6.929 MeV	neutron + Te122 --> N gamma + e- + Te123:	1	Q =
20.53 eV	neutron + Te122 --> N gamma + neutron + Te122:	174	Q = -
2.1475 eV	neutron + Te122 --> neutron + Te122:	1962	Q =
9.4245 MeV	neutron + Te123 --> N gamma + Te124:	16	Q =
198.52 eV	neutron + Te123 --> N gamma + neutron + Te123:	153	Q = -
1.8378 eV	neutron + Te123 --> neutron + Te123:	612	Q =
6.569 MeV	neutron + Te124 --> N gamma + Te125:	23	Q =
6.569 MeV	neutron + Te124 --> N gamma + e- + Te125:	17	Q =
67.896 eV	neutron + Te124 --> N gamma + neutron + Te124:	360	Q = -
2.196 eV	neutron + Te124 --> neutron + Te124:	3754	Q =
9.1137 MeV	neutron + Te125 --> N gamma + Te126:	49	Q =
9.1137 MeV	neutron + Te125 --> N gamma + e- + Te126:	1	Q =
263.98 eV	neutron + Te125 --> N gamma + neutron + Te125:	1167	Q = -
1.8386 eV	neutron + Te125 --> neutron + Te125:	4987	Q =
6.2877 MeV	neutron + Te126 --> N gamma + Te127:	57	Q =
6.2877 MeV	neutron + Te126 --> N gamma + e- + Te127:	16	Q =
54.047 eV	neutron + Te126 --> N gamma + neutron + Te126:	1233	Q = -
2.0114 eV	neutron + Te126 --> neutron + Te126:	15093	Q =
6.0824 MeV	neutron + Te128 --> N gamma + Te129:	70	Q =
6.0824 MeV	neutron + Te128 --> N gamma + e- + Te129:	1	Q =
62.934 eV	neutron + Te128 --> N gamma + neutron + Te128:	1945	Q = -
1.9689 eV	neutron + Te128 --> neutron + Te128:	25699	Q =
5.9294 MeV	neutron + Te130 --> N gamma + Te131:	26	Q =

82.814 eV	neutron + Te130 --> N gamma + neutron + Te130:	1505	Q = -
2.0125 eV	neutron + Te130 --> neutron + Te130:	30678	Q =
254.99 eV	neutron + Ti46 --> N gamma + neutron + Ti46:	44	Q = -
8.3156 eV	neutron + Ti46 --> neutron + Ti46:	343	Q =
15.637 MeV	neutron + Ti47 --> N gamma + Ti48:	2	Q =
62.319 eV	neutron + Ti47 --> N gamma + neutron + Ti47:	64	Q = -
7.6278 eV	neutron + Ti47 --> neutron + Ti47:	283	Q =
21.063 MeV	neutron + Ti48 --> N gamma + Ti49:	2	Q =
7.1315 eV	neutron + Ti48 --> neutron + Ti48:	3432	Q =
7.7079 eV	neutron + Ti49 --> neutron + Ti49:	276	Q =
8.3016 eV	neutron + Ti50 --> neutron + Ti50:	299	Q =
459.75 eV	neutron + W180 --> N gamma + neutron + W180:	1	Q = -
21.495 eV	neutron + W180 --> neutron + W180:	4	Q =
6.7036 MeV	neutron + W182 --> N gamma + W183:	20	Q =
83.804 eV	neutron + W182 --> N gamma + neutron + W182:	642	Q = -
1.5512 eV	neutron + W182 --> neutron + W182:	1372	Q =
5.6632 MeV	neutron + W183 --> N gamma + W184:	12	Q =
449.32 eV	neutron + W183 --> N gamma + neutron + W183:	482	Q = -
1.1551 eV	neutron + W183 --> neutron + W183:	596	Q =
6.6589 MeV	neutron + W184 --> N gamma + W185:	22	Q =
77.277 eV	neutron + W184 --> N gamma + neutron + W184:	801	Q = -
1.3372 eV	neutron + W184 --> neutron + W184:	1504	Q =
5.7747 MeV	neutron + W186 --> N gamma + W187:	11	Q =
186.87 eV	neutron + W186 --> N gamma + neutron + W186:	771	Q = -
1.4774 eV	neutron + W186 --> neutron + W186:	1355	Q =

Number of gamma: N = 1 --> 15

List of generated particles:

41.904 keV)	C15:	5	Emean = 41.881 keV	(41.85 keV -->
22.276 keV)	Er162:	9	Emean = 7.3057 keV	(304.25 eV -->

Er164:	84	Emean = 6.4996 keV	(81.436 eV	-->
23.021 keV)				
Er165:	3	Emean = 6.2811 keV	(6.1381 keV	-->
6.3928 keV)				
Er166:	1650	Emean = 6.7102 keV	(4.3824 eV	-->
23.985 keV)				
Er167:	1171	Emean = 6.1447 keV	(6.0428 eV	-->
23.89 keV)				
Er168:	1381	Emean = 7.0145 keV	(0.69677 eV	-->
23.788 keV)				
Er169:	9	Emean = 6.1872 keV	(5.3885 keV	-->
6.9334 keV)				
Er170:	773	Emean = 7.3027 keV	(3.0743 eV	-->
23.457 keV)				
Er171:	5	Emean = 6.0769 keV	(5.7474 keV	-->
6.9299 keV)				
O16:	278099	Emean = 111.08 keV	(0.20597 eV	-->
223.68 keV)				
O17:	10	Emean = 107.04 keV	(7.963 keV	--> 210.5
keV)				
O18:	109	Emean = 100.32 keV	(7.1749 keV	-->
195.45 keV)				
Te120:	55	Emean = 9.5909 keV	(359.48 eV	-->
32.834 keV)				
Te121:	3	Emean = 8.0794 keV	(7.9008 keV	-->
8.312 keV)				
Te122:	2136	Emean = 9.2486 keV	(8.6871 eV	-->
32.618 keV)				
Te123:	804	Emean = 8.7554 keV	(0.23964 eV	-->
32.209 keV)				
Te124:	4130	Emean = 9.4551 keV	(0.37381 eV	-->
32.138 keV)				
Te125:	6194	Emean = 8.934 keV	(3.1283 eV	-->
31.832 keV)				
Te126:	16376	Emean = 9.11 keV	(0.040483 eV	-->
31.617 keV)				
Te127:	73	Emean = 8.1265 keV	(5.8409 keV	-->
10.439 keV)				
Te128:	27644	Emean = 8.996 keV	(0.16761 eV	-->
31.153 keV)				
Te129:	71	Emean = 7.8279 keV	(5.8926 keV	-->
10.088 keV)				
Te130:	32183	Emean = 9.1245 keV	(0.34246 eV	-->
30.664 keV)				
Te131:	26	Emean = 7.6743 keV	(6.2766 keV	-->
8.8537 keV)				
Ti46:	387	Emean = 30.438 keV	(15.315 eV	-->
83.576 keV)				
Ti47:	347	Emean = 31.777 keV	(196.2 eV	-->
82.359 keV)				
Ti48:	3434	Emean = 28.104 keV	(30.313 eV	-->
80.716 keV)				
Ti49:	278	Emean = 31.022 keV	(32.29 eV	-->
79.113 keV)				
Ti50:	299	Emean = 34.379 keV	(58.581 eV	-->
77.771 keV)				
W180:	5	Emean = 5.2777 keV	(728.45 eV	-->
18.766 keV)				

```

W182:    2014  Emean = 7.3664 keV      ( 8.9763 eV  -->
21.97 keV)
W183:    1098  Emean = 6.7685 keV      ( 7.8665 eV  -->
21.489 keV)
W184:    2317  Emean = 7.1802 keV      ( 2.6972 eV  -->
21.702 keV)
W185:      22  Emean = 5.6003 keV      ( 4.2967 keV -->
7.0343 keV)
W186:    2126  Emean = 7.0135 keV      ( 4.4602 eV  -->
21.455 keV)
W187:      11  Emean = 5.5641 keV      ( 4.821 keV --> 6.311
keV)
alpha:     5  Emean = 11.168 keV      ( 11.16 keV  -->
11.174 keV)
e-:       36  Emean = 97.716 keV      ( 35.439 keV -->
746.98 keV)
gamma:    18191 Emean = 503.57 keV      ( 237.4 eV   -->
10.323 MeV)
neutron:  10730 Emean = 462.46 keV      ( 3.6355 keV -->
964.35 keV)

Momentum balance: Pmean = 46.826 keV      ( 0.3954 eV  --> 323.37
keV)

```

```

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1116568699, 845935534
-----
Idle>

```

(Ege, 2019), (Krane,2001), (Lamarsh, Baratta, 2015), (Raymond, Holbert, 2015).

SONUÇ VE ÖNERİLER

1896 yılında Henry Becerelin radyoaktiviteyi keşfinden sonra, radyasyonun hayatımızdan bir çok alanındaki yeri hızla artmıştır. Başta askeri amaçlar ve enerji kullanımı olmak üzere, tıp , tarım ve endüstrinin birçok alanında yaygın şekilde kullanılan radyasyon aynı zamanda insana ve canlı sağlığı açısından önemli problemleri de yanında taşımaktadır .

Radyasyonun bu zararlı ve ölümcül yanını olabildiğince azaltmak ve ya tamamen yok etmek amacıyla geliştirilen ve geliştirilmeye devam eden zırh malzemeler, günümüzde nükleer fizik alanında çalışan birçok bilim insanının çalışma alanı olarak yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Nükleer santrallerin merkezlerindeki sızıntı halleri başta olmak üzere, zırh teknolojisi tıpta ve diğer kullanım alanlarında da araştırma konusudur.

Ülkemizde de bu konuyla ilgili nükleer zırh çalışmaları devam etmekte olup birçok zırh malzemesi geliştirilmiş bu malzemeler bilimsel dergilerde yayınlanmış ayrıca bazılarının patentleri alınmıştır.

Çalışmamızın amacı olan, zırh malzemesi olarak tanımlanmış bazı camların nötronlara karşı zırh özelliklerini inceleyerek, zırh malzemeleriyle etkileşen nötronların etkileşme sonrası ortaya çıkan ve çok dikkat edilmeyen ikincil radyasyon açısından inceledik. On iki farklı malzeme ile yapılan simülasyon çalışması sonucunda çok dikkate alınmayan ikincil gama radyasyonlarına aşağıda yer verilmiş olup, en çok ikincil gama radyasyonu ve en az ikincil gama radyasyonu yaratan camlara dikkat çekilmiştir.

Zırh malzemesi olarak kullanılan camların radyasyona karşı zırh etkisi çok önemli olmakla birlikte malzemeyle etkileşen nötronlar sonucunda doğan ikincil radyasyon da özellikle insanın yer aldığı çalışmalarda, insana sağlığına etkisi açısından mutlaka değerlendirilmelidir

Aşağıdaki tablolarda detaylı olarak kullanılan on iki farklı cam örneklerinin nötron etkileşmeleri sonucunda ortaya çıkardıkları ikincil gama ve nötron radyasyonlarından sayıca bahsedilmiştir .

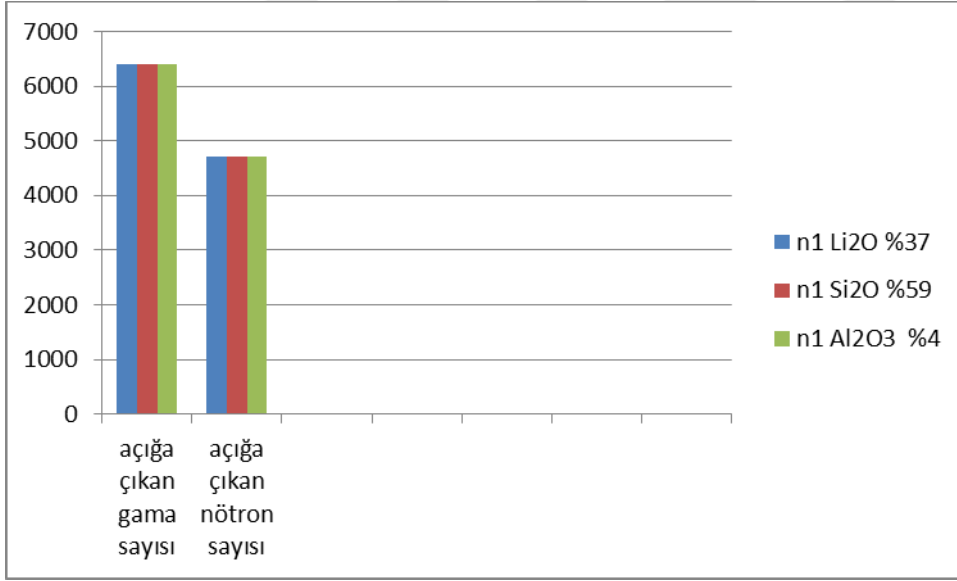
Cam	Cam Örnekteki	Açığa Çıkan Gama	Açığa Çıkan Nötron
-----	---------------	------------------	--------------------

Örneğin Kodu	Bileşikler - Yüzdeleri	Sayı	Sayı
n1	Li ₂ O %37	6391	4708
	Si ₂ O %59	6391	4708
	Al ₂ O ₃ %4	6391	4708
n2	SiO ₂ %81	779	356
	B ₂ O ₃ %13	779	356
	Na ₂ O %2	779	356
	K ₂ O %2	779	356
	Al ₂ O ₃ %2	779	356
n3	BaO %20	1997	272
	Bi ₂ O ₃ %10	1997	272
	B ₂ O ₃ %70	1997	272
n4	SnO %20	1662	60
	Bi ₂ O ₃ %10	1662	60
	B ₂ O ₃ %70	1662	60
n5	GeO ₂ %42	1157	850
	B ₂ O ₃ %8	1157	850
	P ₆ O %40	1157	850
	Bi ₂ O ₃ %10	1157	850
n6	SiO ₂ %49,46	8375	3911

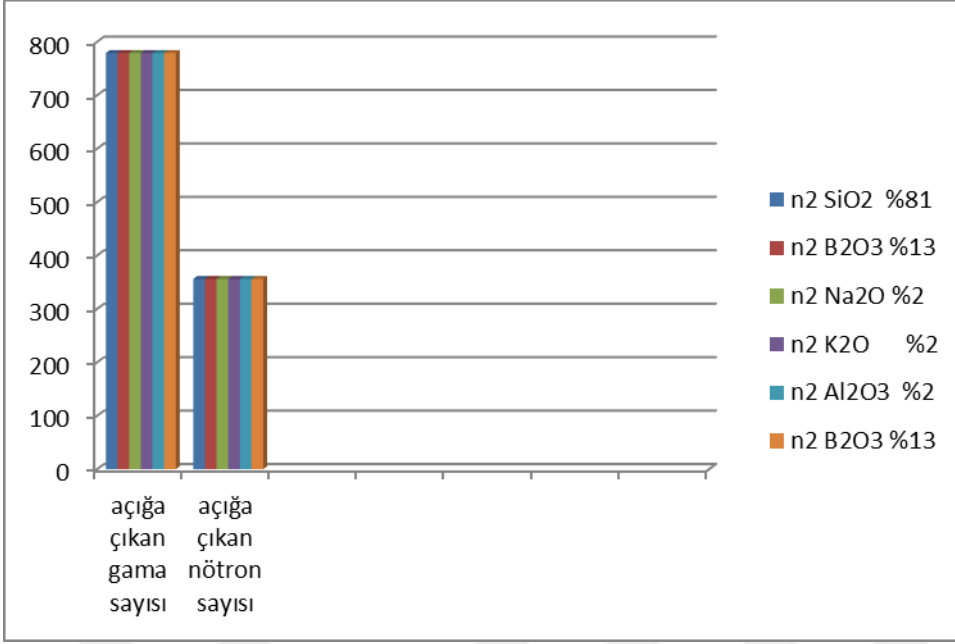
	Na ₂ O %2	8375	3911
	CaO % 23,08	8375	3911
	P ₂ O ₅ %1,08	8375	3911
n7	Na ₂ BO ₄ %90	9847	5309
	P6O %6	9847	5309
	NiO %4	9847	5309
n8	B ₂ O ₃ %75	1982	187
	ZnO %10	1982	187
	Bi ₂ O ₃ %15	1982	187
n9	Teo ₂ %66	12034	7674
	B ₂ O ₃ %10	12034	7674
	M ₀ O ₃ %10	12034	7674
	ZnO %10	12034	7674
	Li ₂ O %10	12034	7674
n10	B ₂ O ₃ %55	6555	3294
	Li ₂ O %1	6555	3294
	MgO %5	6555	3294
	ZnO %5	6555	3294
	Na ₂ O %14	6555	3294
	BaO ₂ %20	6555	3294
n11	SiO ₂ %49,66	8397	5017

	Na ₂ O %26,38	8397	5017
	CaO %23,08	8397	5017
	P ₂ O ₅ %1,08	8397	5017
n12	TeO ₂ %80	18191	10730
	TiO ₂ %5	18191	10730
	Ee ₂ O ₃ % 5	18191	10730
	WO ₃ %10	18191	10730

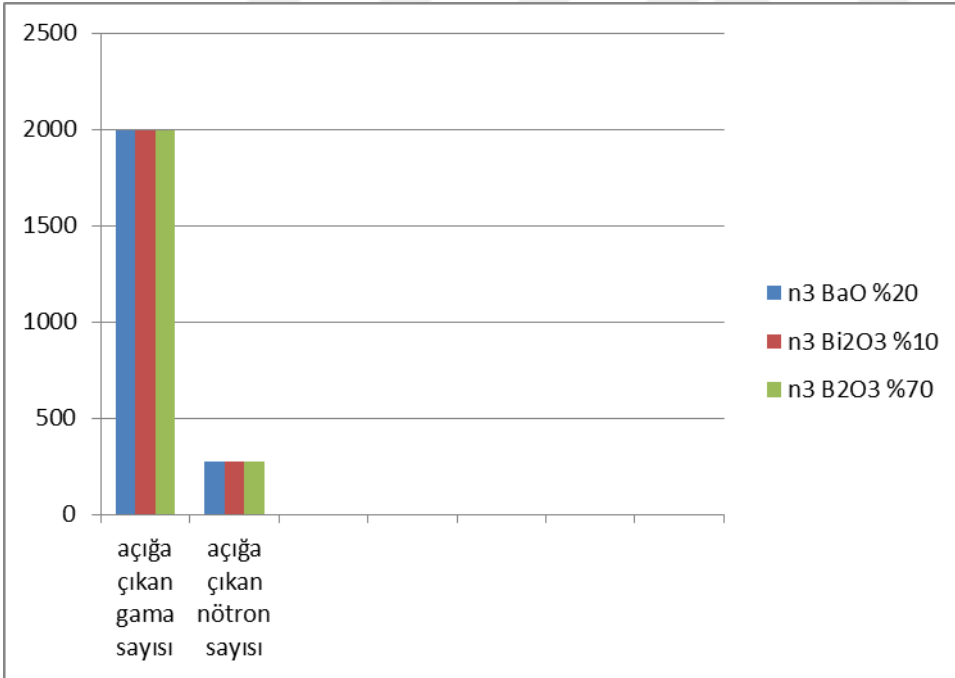
Şekil 15. Cam Örneklerinin Nötron Etkileşmeleri Sonucunda Ortaya Çıkardıkları İkincil Gama Ve Nötron Radyasyonları



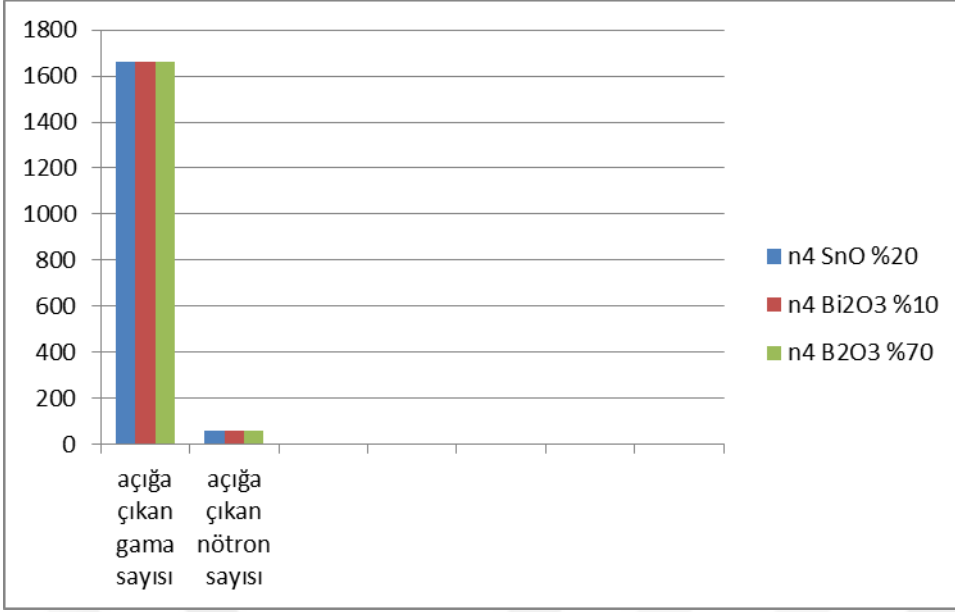
Şekil 16. n1



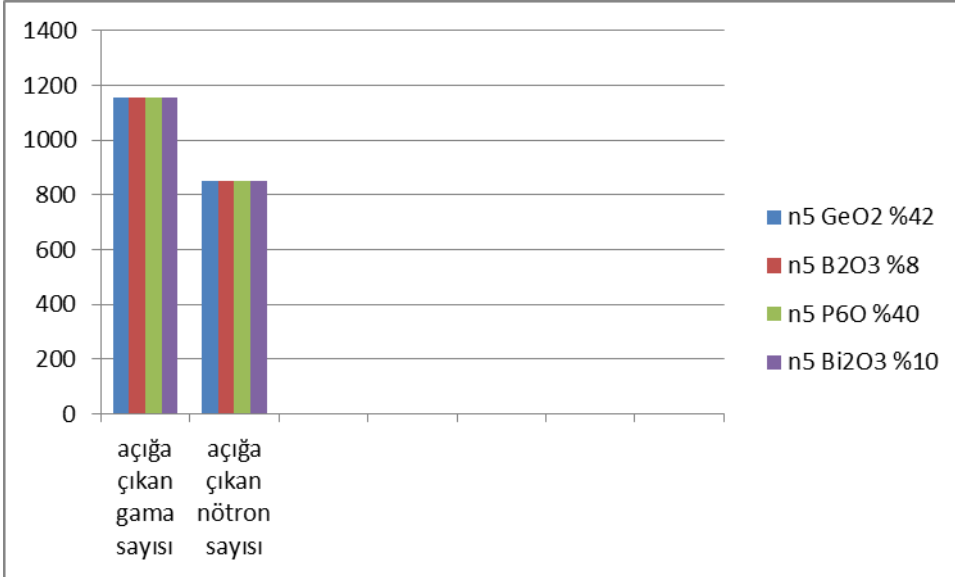
Şekil 17. n2



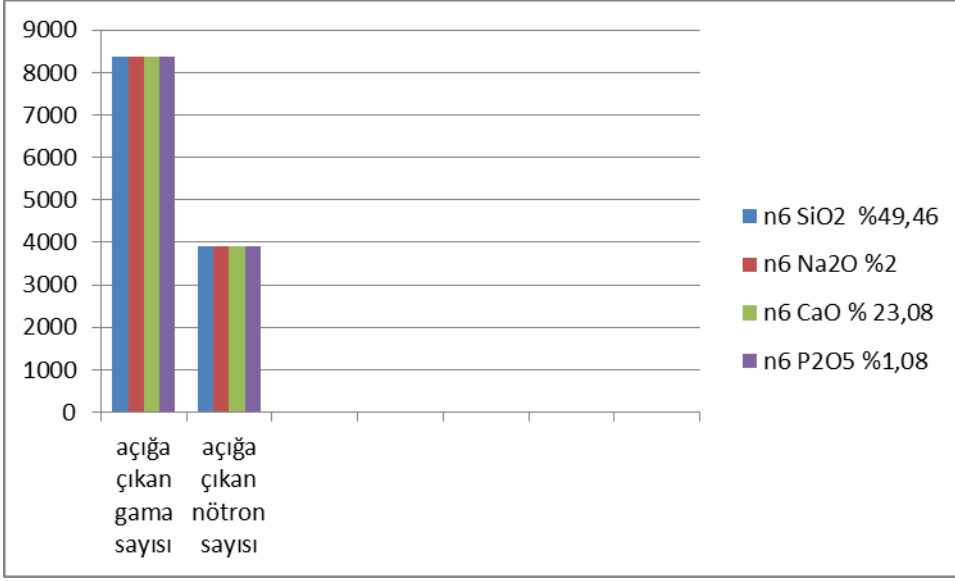
Şekil 18. n3



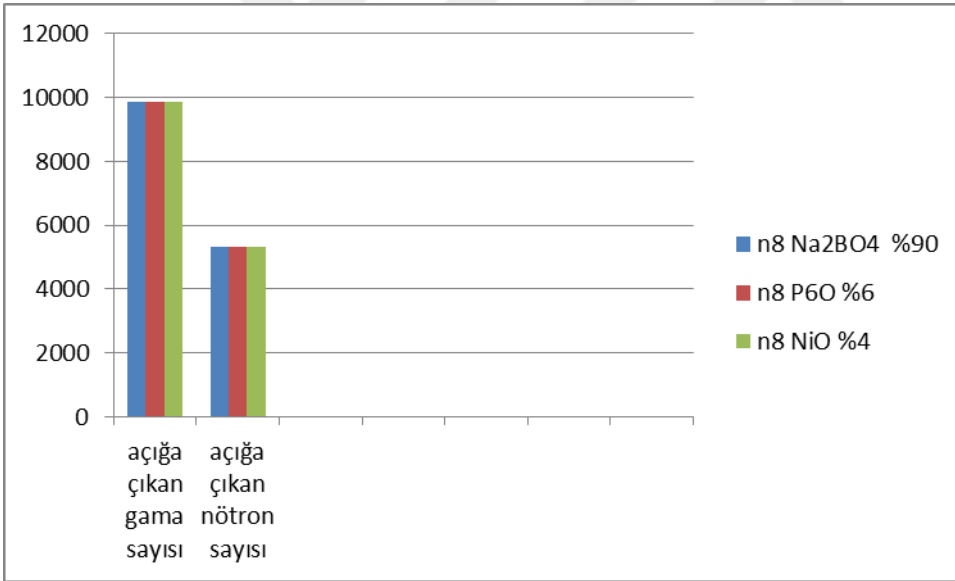
Şekil 19. n4



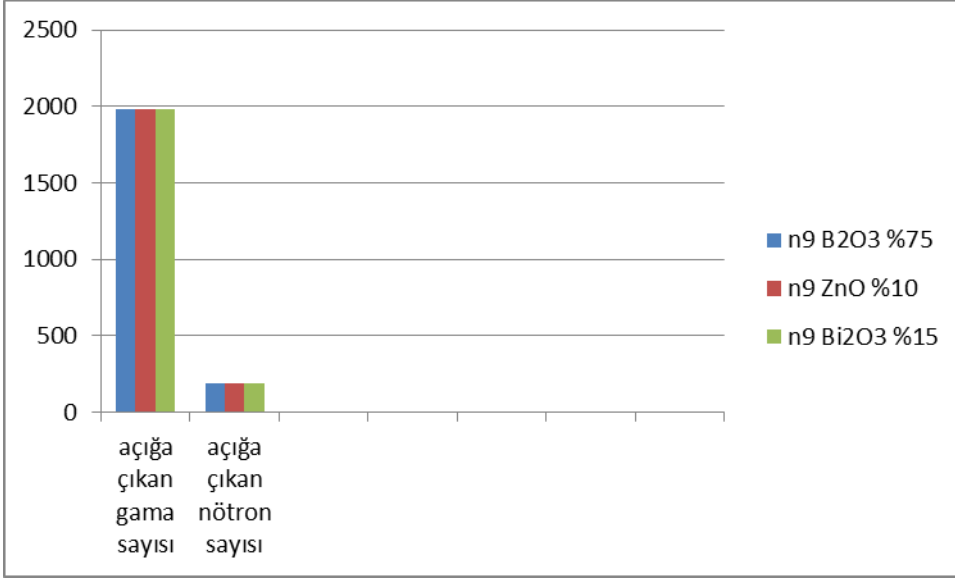
Şekil 20. n5



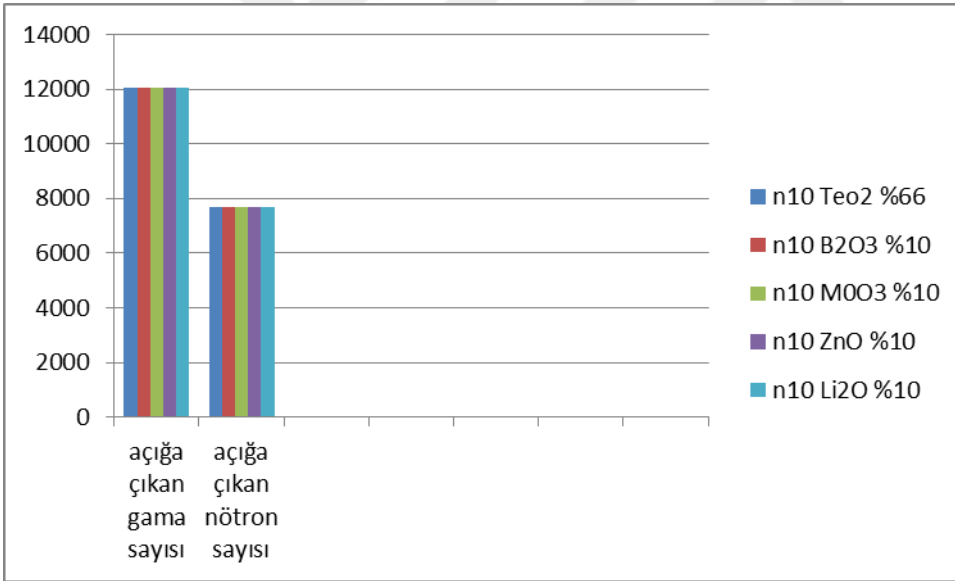
Şekil 21. n6



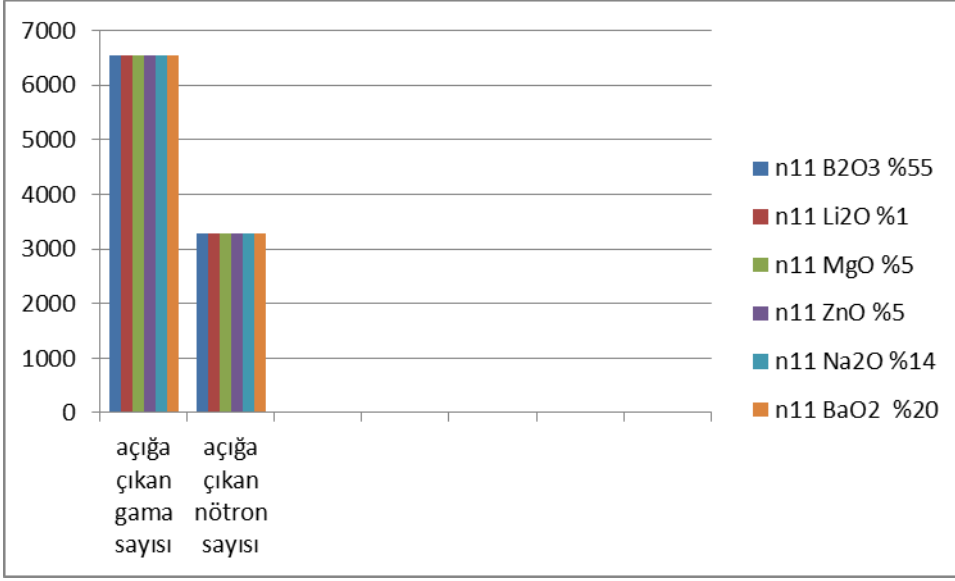
Şekil 22. n7



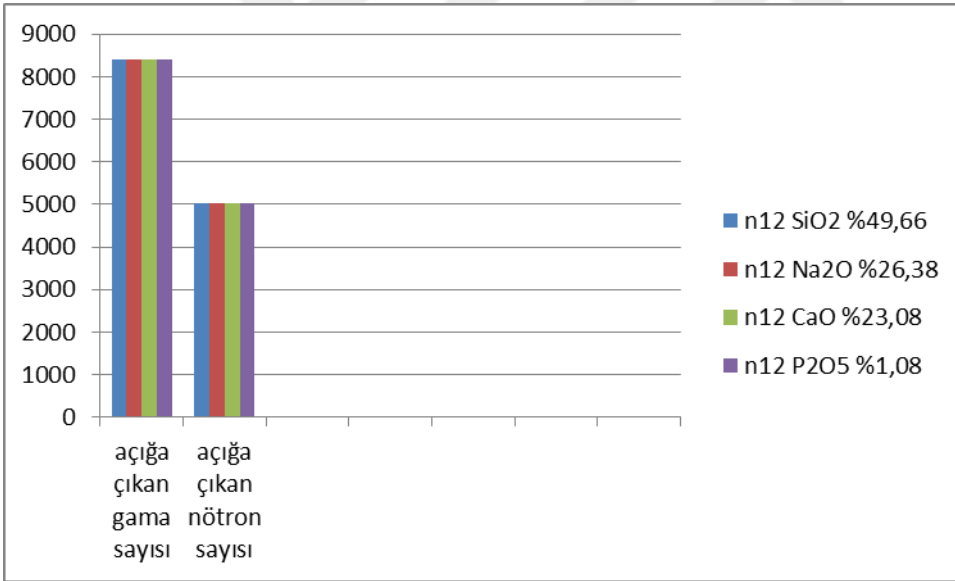
Şekil 23. n8



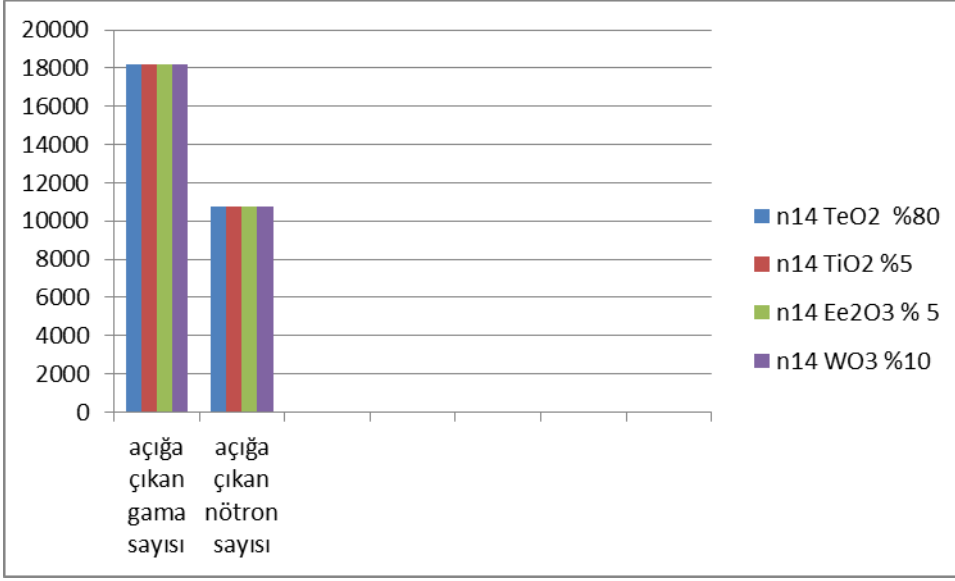
Şekil 24. n9



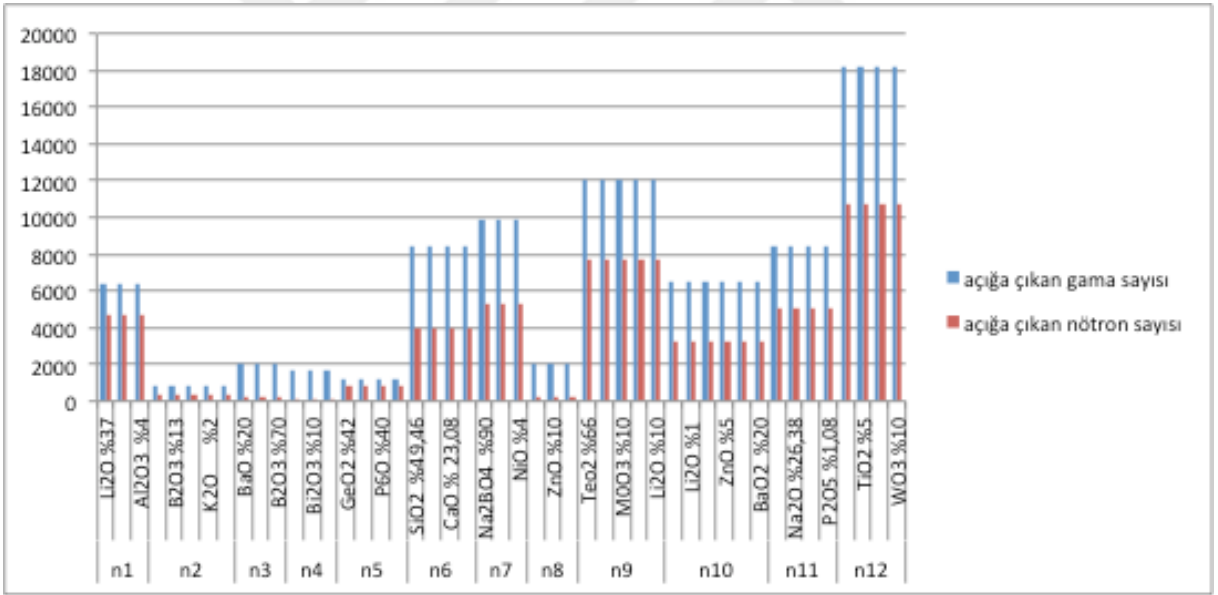
Şekil 25. n10



Şekil 26. n11



Şekil 27. n12



Şekil 27. Açığa Çıkan Gama ve Nötron Sayısı

Simülasyon sonuçları detaylı incelediğinde, en çok ikincil gama radyasyonu üreten camların sırasıyla; n12, n9, n7 olduğu, en az gama radyasyonu yaratan camların ise sırasıyla, n2, n5, n3, olduğu tespit edilmiştir

Bu camlardaki ikincil gama radyasyonunun en etkili olduğu reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.

1-) n12 cam örneği;

Bu cam örneğinde en çok ikincil gama üreten izotoplar sırasıyla

Te128, Te130, Te126 ve Te125'dir .

Buradan sonuçla cam örneği içindeki TeO2 yerine farklı bir oksit bileşik kullanılabilir .

2-) n9 cam örneği ;

Bu cam örneğinde en çok ikincil gama radyasyonu üreten izotoplar sırasıyla

Li 7, Te128, Te126, Te125'dir

Buradan sonuçla cam örneği içerisindeki Li2O ve TeO2 yerine farklı oksit bileşikler kullanılabilir.

3-) n7 cam örneğinde en çok ikincil gama radyasyonu üreten izotop Na23 olarak görölmektedir. Buradan sonuçla cam örnek içerisindeki Na elementi yerine başka bir element değeriendirilebilir .

Cam örnekler içerisindeki en az ikincil gama radyasyonu üreten camlar sırasıyla n2, n5, ve n3 örnekleridir .Bu cam örnekleri ve içindeki bileşikler sırasıyla

1-) n2 = SiO2+B2O3+Na2O+K2O+Al2O3

2-) n5 = GeO2+B2O3+PbO+Bi2O3

3-) n3 = BaO +Bi2O3+B2O3

Olarak görölmektedir. İkincil gama radyasyonunu en az üreten bu cam örnekleri incelendiğinde ortak paydanın BOR (B) oksitleri olduğu görölmektedir. Dünya rezervleri açısından en büyük Bor madeni rezervlerine sahip olan ölkemiz açısından da bu durumun önemsenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Endüstrinin bir çok alanında son on yılda yaygın kullanılmaya başlayan Bor elementi nükleer zırh açısından da ne kadar önemli olduğu aşikardır. Bor elementinin ölkemizdeki rezerv zenginliği, konumuz olan nükleer zırh malzemelerinin içerisindeki en önemli malzemelerden birioluğu ve Bor'dan yapılacak yeni

zırhların üretimi ülkemizin ekonomik girdileri açısından da önemli katkı sağlayacağı açıkça görülmektedir.



KAYNAKLAR

Akkoyun, S. 2006: Uzayda Gama Işını Ölçümleri – Bir Geant Simülasyonu, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Aygün, B. 2015: Nükleer Uygulamalarda Radyasyon Güvenliği Amacıyla Yeni Kalkan Malzemelerin Deneysel Ve Monte Carlo Simülasyon Kodları (Cern-Fluka Ve Geant4) İle Belirlenmesi Ve Fabrikasyonu, Atatürk Üniversitesi, Gen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.

- Bora, H. 2001: Radyasyon Güvenliği, Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Yıllığı, Cilt:2, Sayı 1.
- Donga, M.G. El-MaJlawany, R., Sayyed, M.I. Tekin, H.O. 2017: Shielding Properties Of $80\text{TeO}_2\text{-}5\text{TiO}_2\text{-}(15\text{-}x)\text{W0}_3\text{-}x\text{A}_n\text{O}_m$ Glasses Using WinXCom and MCNP5 Code, Radiation Physics Chemistry, 141 172-178.
- Ege, A. 2019: Nükleer Enerji, Hece Yayınları, İstanbul.
- Kaewkhao, J. Korkut, T. Korkut, H. Aygün, B. Yasaka, P. Tuscharoenfl, S. Insiripongrf, S. Karabulut, A. 2017: Monte Carlo Design and Experiments on the Neutron Shielding Performances of $\text{B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-Bi}_2\text{O}_3$ Glass System, 'SSK 1087-6596, Glass PHysIcsand Chm*». Vol. 43. No. 6, 560-563. O MM» IM.. 20,7.
- Köklü, N. 2006: Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri ve tıpta Uygulama Alanları, Selçuk Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Konya.
- Krane, K.S. 2001: Nükleer Fizik 1., Çeviren: B. Şarer, Cilt, Palme Yayınevi, Ankara.
- Lakshminarayana, G. Baki, S. O. Lira, A. Sayyed, M. I. Kityk, I. V. Halimah, M. K. Mahdi, M. A. 2016: X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) and Radiation Shielding Parameters Investigations For Zinc Mofybdenum Borotellurite Glasses Containing Different Network Modifiers, Received: 21.
- Lamarsh, J.R. Baratta, A.J. 2015: Nükleer Mühendisliğe Giriş, Palme Yayıncılık, İstanbul.
- Ocaktan,23-25,
(file:///D:/17568/Desktop/BARI%C5%9E%20MERT/RADYASYON%20ETK%C4%B0LER%C4%B0%20KORUNMA%20%20ES%C4%B0N%20OCAKTAN%20(1).pdf).
- Raymond, L.M. Holbert, K.E. 2015: Nükleer Enerji, Nobel Akademik Yayıncılık, İstanbul.
- Saeed, A.A. El Shazly, R.M.E. El-Okr, M.M. El-Azm, A.M.A. Elbashar, Y.H. Comsan, M.N.H. Kansouh, W.A. El-Sersy, A.R. Neütron Shielding Properties Of A Borated High-Density Glass, <http://doi.org/10.2298/NTRP1702120S>.

- Singh, V. P. Badiger, N. M. Kothan, S. Kaewjaeng, S. Korkut, T. Kim, H. J. Kaeukhao, J. 2016: Gamma-Ray And Neutron Shielding Efficiency Of Pb-Free Gadolinium-Based Glasses, NUCL SCI TECH (2016) 27:103 DOI I0.1007/s41365-016-0099-1.
- Tekin, H.O. Kilicoglu, O. Kavaz, E. Altunsoy, E.E. Almatari, M. Agar, O. Sayyed, M.I. 2019: The Investigation Of Gamma-Ray And Neutron Shielding Parameters Of Na₂O-CaO-P₂O₅-SiO₂ Bioactive Glasses Using MCNPX Code, Results in Physics 12, 1797-1804.
- Umaç, Z. I. 2012: Çeşitli Lastik Ve Alçı Malzemelerin Nötron Parçacıklarına Karşı Zırh Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Atatürk Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, yüksek lisans Tezi, Erzurum,
- Weinberg, S. 2002: Atomaltı Parçacıklar, Bir Keşif Süreveni, Çeviri: Zekeriya Aydın, Tubitak Popüler Bilim Kitapları, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1. Kişisel Bilgiler

Ad Soyad Barış Mert
Doğum Tarihi 02/11/1975
Doğum Yeri Sinop
E-posta Adresi baris.mert@bahcesehir.k12.tr

2. Eğitim Bilgileri

Lisans Ondokuzmayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği

3. İş Deneyimi

1996 Özel Bir Öğretim Kurumunda Fizik Öğretmeni
Şu Anda Yaptığı Görev Sinop Merkezde Özel Bahçeşehir Kolejinde Kurucu Müdür