

## KÜTLE SOĞURMA KATSAYISININ ÖLÇÜMÜ

### Amaç

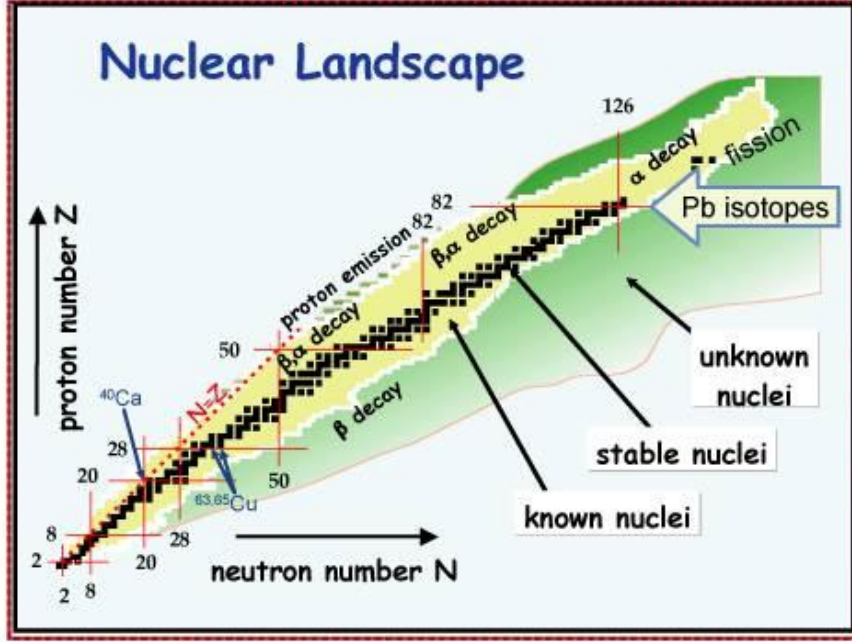
Çeşitli soğurucu maddeler kullanarak kütle soğurma katsayısının bir beta kaynağı olan  $Sr^{90}$  için hesaplanması. Bu soğurucu maddeler için beta parçacıklarının menzillerinin bulunması. Deneysel ölçümlerden yararlanarak radyasyon şiddeti ve uzaklık arasındaki bağıntının çıkarılması.

### Deneye Hazırlık Bilgileri

Çekirdeklerin pek çoğu, nükleer bir reaksiyonla kararsız hale getirilmediği sürece, karardır. Nükleer kararlılık çekirdek içindeki kuvvetlerin dengesi ile belirlenir. Protonlar pozitif yüklü parçacıklar olduğundan birbirini iterler. Çekirdek içindeki nükleer kuvvetler ise nükleonları bir arada tutmaya çalışırlar. Bu iç kuvvetler arasındaki dengeyi belirlemek en önemli faktördür. Dolayısıyla nükleer kararlılık çekirdek içindeki nötron ve proton sayılarının oranı ile belirlenir. Bizmattan ( $Z = 83$ ) sonraki tüm elementler radyoaktiftir. Nükleer reaksiyonlar sonucunda insan yapımı pek çok çekirdek oluşturulmuştur ve hepsi radyoaktiftir. Başka bir deyişle tüm olası kararlı çekirdekler doğada bulunurlar. Nötron sayısının proton sayısına göre grafiği kararlılık eğrisi olarak adlandırılır.  $N=Z$  civarındaki çekirdekler kararlı çekirdeklerdir.

$^{40}_{20}Ca$  'e kadar olan çekirdekler karardır ve nötron/proton oranı yaklaşık olarak bire eşittir. Kalsiyum'un üzerindeki çekirdekler daha fazla nötron sayısına sahiptir. Dolayısıyla kütle numarası büyük olan atomlar için bu değer değişir. Hafif çekirdeklerde  $A < 20$ ,  $N/Z$  oranı 1'e yakındır. Kütle numarası küçük olan çekirdeklerin kararlı olabilmesi için nötron/proton oranının bir veya bire yakın olması gerekir. Örneğin  $^{12}_6C$ ,  $^{13}_6C$ ,  $^{14}_6C$  izotoplarının nötron/proton oranı sırasıyla 1.00, 1.16 ve 1.33'dür. Bu nedenle doğal karbon izotopları arasında  $^{12}_6C$ ,  $^{13}_6C$  kararlı olmasına karşılık  $^{14}_6C$  kararsız radyoaktif bir elementtir. Ağır çekirdeklerde ise  $A > 20$ ,  $N/Z$  oranı nötron sayısındaki artışa bağlı olarak 1 ile 1.6 arasında değişir, çekirdeğin kararlı olabilmesi için bu değer yaklaşık olarak 1.5 civarında olması gerekir. Kararlılık bölgesi dışında kalan çekirdekler ise kararsız çekirdeklerdir. Kararsız çekirdekler alfa, beta veya gamalar yayınlamaya ya da bölünerek (fizyon) kararlı hale gelmeye çalışırlar. Bu parçalanma süreci çekirdek kararlılık bölgesine ulaşıncaya dek devam eder. Şekil 1'de kararlılık eğrisi görülmektedir. Proton ve nötron sayısının fazla olduğu üst bölgede alfa bozunması gerçekleşir. Buradaki çekirdeklerin kütle numaraları çok büyüktür, ağır çekirdekler olarak adlandırılırlar. Bu durumda çekirdek bir alfa parçacığı ( $\alpha$ ) – yani helyum çekirdeği yayınlamaya başka bir elemente dönüşür. Reaksiyon  $^A_ZX \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}X + ^4_2He$  şeklindedir. Örneğin  $^{212}_{84}Po \rightarrow ^{208}_{82}Pb + ^4_2He$ .

Proton sayısı 83'den, nükleon sayısı ise 209'dan büyük çekirdeklerde gözlenir. Alfa bozunması (parçalanması) bir ana çekirdeğin ardışık, zincirleme parçalanmalarla başka çekirdeklere dönüştüğü "bozunma kümeleri"nde sıkça gözlenir. Bu tip bozunmalara "radyoaktif seri" denir, dört adet radyoaktif seri vardır, uranyum, toryum, aktinyum ve neptünyum serileri.



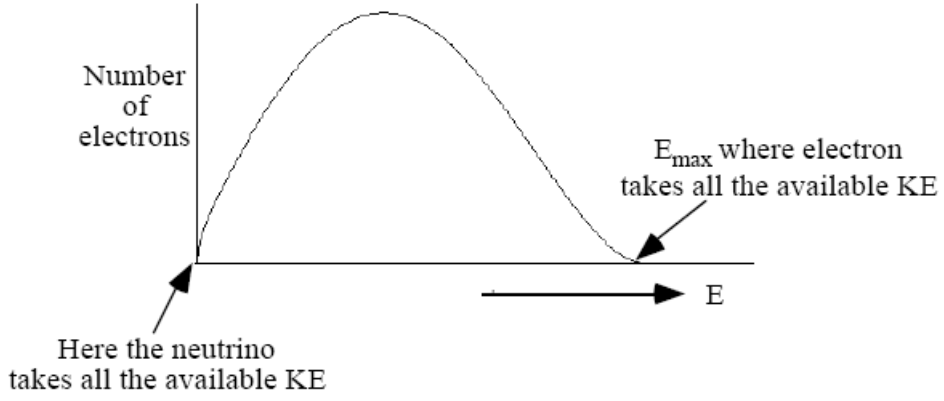
Şekil 1 Kararlılık eğrisi

Nötron fazlalığının olduğu durumda çekirdek içerisindeki bir nötron, elektron ve antinötrino yayınlarak protona dönüşür. Burada nötrinolar yüksüz parçacıklardır, kütleleri sıfıra yakındır ve ışık hızından küçük ancak ona yakın hızlarda hareket eden atom altı parçacıklardır. Bu olaya beta bozunması ( $\beta^-$ ) denir.  ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu}$  şeklindedir, örneğin  ${}^{14}_6C \rightarrow {}^{14}_7N + e^- + \bar{\nu}$  reaksiyonu. Reaksiyon sonucunda açığa çıkan bu hızlı elektrona beta parçacığı denir. Nötron fazlalığının olduğu bu durumda, nötron bir protona dönüşerek kararlılık çizgisine biraz daha yaklaşır. Aynı zamanda çekirdekte bir elektron yaratılmış olur ve bu elektron çekirdekte atılır. Ayrıca proton sayısı bir arttığından, element başka bir elemente dönüşür. Çekirdek içerisinde bağlı olmayan bir nötronun, bir proton, elektron ve antinötrinoya dönüşmesi için 13 dakikalık bir yarı ömür yeterlidir.

Proton fazlalığının olduğu bölgede ise çekirdek dışarıya bir proton atar, bu proton da bir nötron, pozitron ve nötrinoya dönüşür,  $\beta^+$  bozunması.  ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + e^+ + \nu$  şeklindedir, örneğin  ${}^{10}_6C \rightarrow {}^{10}_5B + e^+ + \nu$  reaksiyonu.  $\beta^+$ 'ya pozitron da denir. Pozitron elektronun anti maddesidir, pozitif yüklü elektrondur. Atom bir proton kaybettiğinden bir elementten başka bir elemente dönüşür.  $\beta^-$  bozunması yalnızca ana çekirdeğin bağlanma enerjisi bozunma sonucu elde edilen çekirdeğin bağlanma enerjisinden büyük olduğu zaman gerçekleşir. Enerjiler arasındaki bu fark yüzünden bir proton bir nötron, pozitron ve nötrinoya dönüşür.

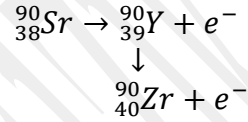
Beta parçacıklarının kinetik enerjisi sıfırdan uygun bir maksimum enerjiye kadar (Q) sürekli bir spektrum şeklindedir. Bu maksimum enerji bozunmadaki ana çekirdeğin taban durumu kütlesi ile bozunma sonucu elde edilen çekirdeğin taban durumu kütlesi artı bozunan parçacığın kütlesi arasındaki farka eşittir. Bu fark reaksiyon sonucunda açığa çıkacak maksimum enerjiyi ifade eder. Q değerinin negatif olması

reaksiyonun gerçekleşmesi için dışarıdan enerji vermek gerektiği anlamına gelir. Pozitif Q değerleri için enerji elde edilir. Q değerinin tipik değeri 1 MeV civarındadır, bir kaç keV'den 20-30 MeV'e kadar değişebilir. Beta parçacıklarının hızı genelde relativistiktir ve hızı ışık hızına çok yakındır.

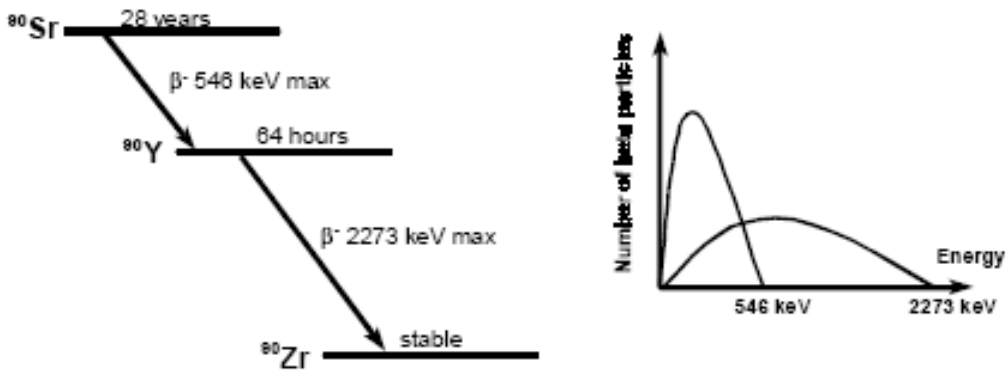


**Şekil 2** Beta bozunumunda elektronun enerji dağılımı

Bu deneyde kullanılan  $Sr^{90}$  (Stronsiyum) kaynağının bozunum reaksiyonu



şeklindedir, bozunum şeması ve reaksiyondan sonra açığa çıkan beta parçacıklarının enerji dağılımı da Şekil 3'de verilmiştir (Y: İtiryum, Zr: Zirkonyum).



**Şekil 3** a) Bozunum şeması

b) Beta parçacıklarının enerji dağılımı

Radyoaktif çekirdeklerin zamanla bozunum hızı çekirdek sayısı ile orantılıdır. Orantı sabitine de bozunum sabiti  $\lambda$  denir. Böylece,  $t$  anındaki çekirdek sayısı için

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (1)$$

diferansiyel denklemini yazılabilir. Eğer başlangıçta ( $t = 0$ )  $N_0$  tane çekirdek varsa Denk. (1)'in çözümü

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (2)$$

üstel denklemlerle verilir. Denklem (2)'deki üstel terim radyoaktif maddenin içindeki herhangi bir çekirdeğin bozunma olasılığı yoğunluğunu ifade eder. Eğer bunu uygun bir şekilde normalize edersek ( $A$  normalizasyon katsayısı olmak üzere),

$$1 = \int_0^{\infty} A \exp(-\lambda t') dt' = \frac{A}{\lambda} \quad (3)$$

Bir çekirdeğin  $t$  anına kadar bozunma olasılığı

$$P_b(t) = \int_0^t \lambda \exp(-\lambda t') dt' = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (4)$$

olur. Çekirdeğin  $t$  anına kadar hayatta kalma (bozunmama) olasılığı  $P_h(t)$  Denk. (4) kullanılarak

$$P_h(t) = 1 - P_b(t) = \exp(-\lambda t) \quad (5)$$

şeklinde bulunur. Ortalama ömür  $\tau$  son denklemden hesaplanabilir,

$$\tau = \langle t \rangle = \int_0^{\infty} t' \exp(-\lambda t') dt' = \frac{1}{\lambda}. \quad (6)$$

Yani ortalama ömür bozunum sabitinin tersine eşittir. Yarılanma ömrü  $\tau_{1/2}$  denilen faydalı bir parametre de başlangıç durumuna göre bozunmadan kalan çekirdek sayısının yarıya düştüğü zaman aralığını ifade eder. Denklem (2) kullanılarak kolaylıkla türetilir,

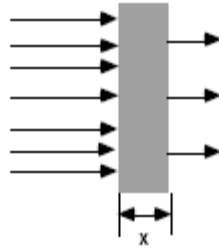
$$N(\tau_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = N_0 \exp(-\lambda \tau_{1/2}) \Rightarrow \tau_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}. \quad (7)$$

Aktivite, birim zamanda (saniyede) bozulan çekirdek sayısını ifade eder. Birimi radyoaktiviteyi keşfeden fizikçiyi onurlandırmak için SI birim sisteminde Bequerel (Bq) olarak adlandırılmıştır. Aktivite madde miktarına (çekirdek sayısına) bağlı olduğu için genellikle birim kütle veya birim hacim başına tanımlanır.

Beta parçacıkları çekirdek ile iki şekilde etkileşebilir: i) elastik çarpışma, ii) inelastik çarpışma. Elastik çarpışmada elektron yani beta parçacığı yörüngesinden keskin bir şekilde sapar ve sistemin toplam enerjisi değişmez. Bu saçılma Rutherford saçılması olarak adlandırılır ve beta parçacıklarının geri saçılmasından sorumludur. Eğer elektron çekirdeğin Coulomb alanında yavaşlarsa Bremmstrahlung olarak adlandırılan elektromanyetik ışınım yapar. Bu ışınım beta parçacığının enerjisine ve çekirdeğe bağlıdır. Bu ışınım genellikle toplam radyasyonun %1'i kadardır, ancak

soğurucu maddenin atom numarasına bağlı olarak etkisi artar. Bu nedenle beta radyasyonundan koruma amacıyla düşük atom numarasına sahip maddeler kullanılır: Örneğin plastik. Bunların dışında beta parçacıkları yörüngelerdeki elektronlarla da etkileşir ve atomu iyonlaştırabilir. Böylece beta parçacığının enerjisi azalır. Eğer bu etkileşme atomun K, L, M yörüngelerindeki elektronlarla oluyorsa karakteristik X-ışınları oluşur.

Beta parçacıkları madde ile etkileştiğinde, bu parçacıkların bir kısmı madde tarafından soğurulur. Beta parçacıklarının madde tarafından soğurulması maddenin yoğunluğuna ve soğurucu madde içinde alınan yola bağlıdır. Yapılan deneyler sonucunda Beta parçacıklarının madde tarafından soğurulmasının yaklaşık olarak ışığın soğurulmasına benzer olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 4** Beta parçacıklarının soğurulması

$I_0$ , soğurucu olmadığı ve  $I$  ise  $x$  kalınlığında bir soğurucu var olduğu durumda radyasyonun şiddetini (Radyoaktif kaynağın şiddeti birim zamanda salınan parçacık sayısı ile verilir) göstermek üzere, beta madde ile etkileştikten sonra şiddeti, etkileştiği maddenin kalınlığı ile üstel olarak azalır

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho}(x\rho)} \quad (8)$$

Burada  $\mu$  soğurucu maddenin soğurma özelliğidir. Denklem (8) ile verilen ifade ışık ile ilişkili olan Beer-Lambert yasası ile benzer formdadır. Bu ifadenin her iki tarafının logaritması alındığında

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\frac{\mu}{\rho}(x\rho) \quad (9)$$

elde edilir. Buradan da görüldüğü gibi  $\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$  ve  $x\rho$  birbiri ile orantılıdır. Orantı katsayısı  $\mu_k = \mu/\rho$  kütle soğurma katsayısı olarak adlandırılır. Sözkonusu olan radyasyon gama ise  $\mu$  çizgisel soğurma katsayısı olarak adlandırılır.

Gözlenen aktivite  $R$ , radyasyonun şiddeti ( $I$ ) ile orantılı olduğundan Denk. (9)

$$\ln\left(\frac{R}{R_0}\right) = -\frac{\mu}{\rho}(x\rho) \quad (10)$$

olarak yazılır.  $\ln(R/R_0)$ 'ın  $(x\rho)$ 'ya göre grafiği Denk.(10)'a göre bir doğru olmalıdır. Ancak, bu grafik bir eğri çıkacaktır. Bu da birden fazla soğurma işleminin olmasından kaynaklanmaktadır.  $\ln(R/R_0)$ 'ın  $(x\rho)$ 'ya göre grafiğinin sol üst kısmı yaklaşık olarak doğru olarak alınıp eğimden kütle soğurma katsayısı bulunabilir.

NOT: Soğurucunun konumunun gözlenen aktivite üzerindeki etkisi unutulmamalıdır. Eğer soğurucu kaynağa çok yakın olursa, beta parçacıklarının soğurucudan saçılması nedeniyle aktivite artar. Bu nedenle soğurucu dedektöre yakın yerleştirilmelidir. Ayrıca burada bulunacak soğurma katsayısı, sadece soğurucu maddenin değil, soğurucu, hava ve dedektörün kapağının soğurma katsayılarının toplamıdır.

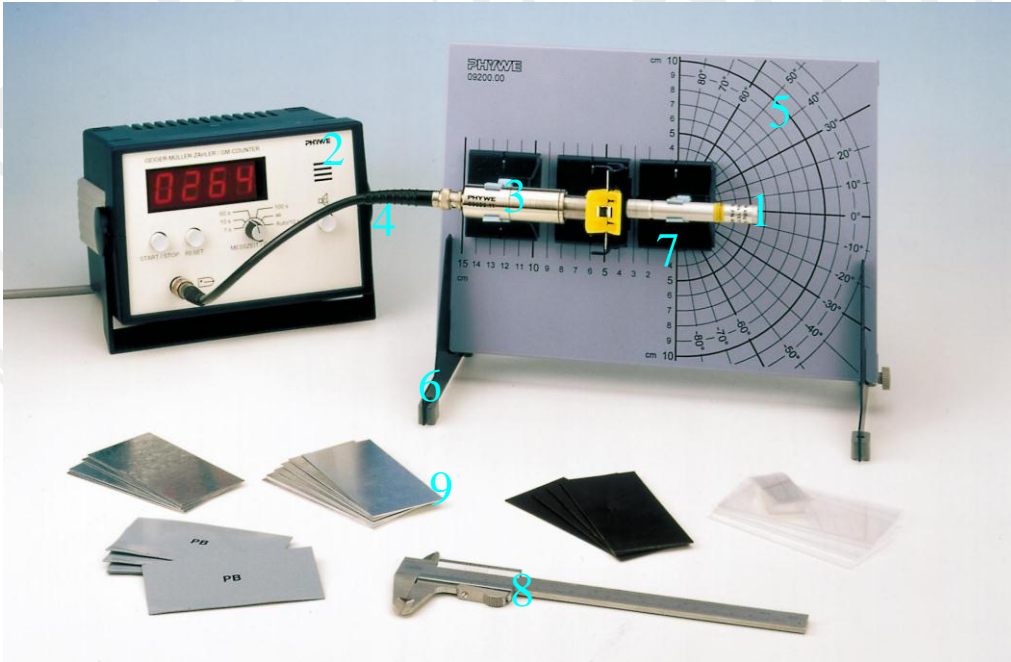
Bu deneyde kullanılacak bazı soğurucu malzemeler için yoğunluklar,

$$\rho_{kağıt} = 0,78 \text{ gr/cm}^3, \quad \rho_{karton} = 0,86 \text{ gr/cm}^3, \quad \rho_{alüminyum} = 2,6 \text{ gr/cm}^3$$

şeklindedir.

### Deneyde Kullanılacak Araçlar

Bu deneyde, Radyoaktif kaynak olarak  $Sr^{90}$  (1), Geiger-Müller sayacı (2), 1 adet sayaç tüpü (3), 1 adet BNC kablo (4), 1 adet taban plakası (5), 2 adet destek (6), 1 adet kaynak tutucu (7), 1 adet verniyeli kompas (8) ve soğurma plakaları (9), kullanılacaktır.



Şekil 5 Deney düzeneği

### Deney İçin Ön Hazırlık ve Deneyin Yapılışı

**UYARI: Radyoaktif kaynağa elle dokunmayınız ve ölçüm işi bitince kaynağı radyasyon geçirmeyen korumalı kutusuna yerleştiriniz.**

Radyoaktif maddelerin şiddetini ölçmek için kullanılan pek çok sayaç (dedektör) vardır: Gazlı sayaçlar, sintilasyon sayaçları. Bu deneyde kullanılacak olan Geiger-

Müller sayacı da bir gazlı sayaçtır. Geiger-Müller sayacının çalışma prensibi iyonizasyona dayanan bir gaz odası sistemidir. Ancak burada konuyu dağıtmamak amacıyla bu sayacın çalışma prensibi tartışılmayacaktır.

Deney düzeneği Şekil 5'de verilmiştir. Bu deneyde radyasyon kaynağı olarak  $Sr^{90}$  kullanılmaktadır. Sayaç tüpü, Geiger-Müller sayacına bir kablo ile şekildeki gibi bağlanır. Sayaç tüpünün önündeki koruyucu plastik kapak sayıma başlanmadan önce çıkarılır. Sayaç ölçüm almak için açılır ve üzerinde bulunan düğmeler yardımıyla sıfırlanarak, sayım almaya hazır hale getirilir. Sayacın kaç saniyede bir ölçüm alması isteniyorsa, üzerindeki düğmeler yardımıyla sayım süresi ayarlanır. Kaynağın ön kenarı ile sayaç tüpü arasındaki uzaklık istenilen değere getirilir.

### A. Kütle Soğurma Katsayısının Ölçümü

1. Sayım süresini 60 saniyeye ayarlayınız.
2. Ortamın doğal radyasyonunu (background değerini) ölçüp not ediniz.
3. Radyasyon kaynağını ( $Sr^{90}$ ) koruyucu kabından dikkatlice çıkarınız ve kaynak tutucu yardımı ile Şekil 4'de gösterildiği gibi yerleştiriniz.
4. Kaynağın ön kenarı ile sayaç tüpü arasındaki uzaklığı 35mm'ye ayarlayınız.
5. Sayacı sıfırlayınız ve soğurucu malzeme yokken, start düğmesine basarak ölçüm almaya başlayınız. 60 saniye sonunda ekranda okunan değerden background değerini çıkararak Tablo 1'e kaydediniz ( $R_0$ ).
6. 1 numaralı soğurucu malzemeyi sayaç tüpü ile kaynak arasına yerleştiriniz.
7. Sayacı sıfırlayıp, start düğmesine basarak ölçüm almaya başlayınız. 60 saniye sonunda ekranda okunan değerden background değerini çıkararak Tablo 1'e kaydediniz. Bu sayma işlemini en az üç kez tekrarlayınız. Her seferinde sayacı sıfırlamayı unutmayınız.
8. Her seferinde plaka sayısını bir arttırarak, adım 6'daki işlemleri tekrarlayınız.
9. Her bir plakanın kalınlığını kompas ile ölçüp, Tablo 1'e kaydediniz ve gerekli hesapları yapınız.
10. 2 ve 3 numaralı soğurucu malzemeler için 4-8 adımlarını takip edip sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'ü doldurunuz.
11. Tablo 1, 2 ve 3'deki değerleri kullanarak, her bir malzeme için  $\ln(R/R_0)$ 'ın  $(x\rho)$ 'ya göre grafiğini çiziniz. Deneye hazırlık bilgileri kısmında anlatıldığı gibi bir eğri olan bu grafiğin sol üst kısmının (bu parçası hemen hemen doğrudur) eğiminden kütle soğurma katsayısını ( $\mu_k$ ) bulunuz.
12. Karton ve alüminyum için beta parçacıklarının menziline bulunuz.





Soğurucu kalınlığı $x(\text{cm})$	Soğurucu kalınlığı $(x\rho)$ ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ )	Sayım	Şiddet $R$ (sayım/sn)	$\ln(R/R_0)$
Soğurucu yokiken	Soğurucu yokiken		$R_0=$	0,0000
			$R_0=$	0,0000
			$R_0=$	0,0000

**Tablo 2 2** Numaralı soğurucu malzeme (karton,  $\rho_{\text{karton}} = 0,86 \text{ gr}/\text{cm}^3$ ) için soğurucu kalınlığı, şiddet tablosu



7. Tablo 4'deki değerlerden yararlanarak radyasyon Őiddetinin uzaklıkla nasıl deęiŐtięini sŧyleyiniz. Radyasyon Şiddeti ile uzaklık arasındaki iliŐki iÇin matematiksel bir ifade elde ediniz.

d(mm)	Sayım	Şiddet R (sayım/sn)
35		
40		
45		
50		

**Tablo 4** Radyasyon Őiddetinin uzaklıkla deęiŐimi

### Sorular

1. Soğurma katsayısı nelere bağlıdır.
2. Radyasyon Şiddetini yarıya indiren kalınlık nasıl bulunur? Yukarıdaki 3 farklı malzeme iÇin Şiddeti yarıya indiren kalınlığı hesaplayınız.
3. Malzemelerin kŐtle soğurma katsayılarının bulunması pratikte ne sağlar?
4. Deneyin A kısmı alfa ve gamma kaynakları iÇin yapılıseydi sonuŐlar nasıl olurdu.