

ATMOSFERDE GAMMA IŞINLARININ  
TESİR KESİTLERİNİN ENERJİYLE DEĞİŞİMİ

Gökay KAYNAK

Uludağ Üniversitesi Fen-Edb. Fak. Fizik Bölümü-BURSA

ÖZET

Alçak enerjili gamma ışınlarının atmosferdeki davranışlarının incelenmesinde coherent saçılma, inelastik saçılma, fotoelektrik olay, elastik toplam ve inelastik toplam tesir kesiti kullanılır. Bu tesir kesitlerinin enerjiyle değişimi lineer değildir. Çalışmada, bu tesir kesitlerinin enerjiye bağlı değişimleri için fonksiyonlar tanımlanmıştır.

THE VARIATION OF CROSS SECTIONS WITH ENERGY  
IN THE ATMOSPHERE

SUMMARY

It is known that for the study of the behaviour of low energy gamma rays in the atmosphere, coherent scattering, incoherent scattering, photoelectric effect, total coherent and total incoherent cross section should be used. In this study, a number of function are derived that relate energy to cross sections

GİRİŞ

Gamma ışınları ile yapılan deneysel ve teorik çalışmalarda en önemli adım, çalışma yapılan ortamda, kullanılan her enerji değeri için oluşan her olayın tesir kesitinin bilinmesidir. Gamma ışınlarının tesir kesitleri kesikli enerji değerlerine bağlı olarak birçok ortam için tablo halinde bulunabilir [1-2]. Bu çalışmada incelenen olaylara ait tesir kesitleri ve toplam tesir kesitleri için J.H. Hubell tarafından verilen kesikli değerler tablo 1 de görülmektedir [1]. Tablodan da görüldüğü gibi tesir kesitlerinin enerjiye bağlı değişimi lineer olmayıp karmaşık bir değişime sahiptir.

Tabule edilmiş (tablolar halinde verilmiş) bu değerlerin kullanımı ara enerji değerlerindeki tesir kesitlerini vermediğinden bir çok deneysel ve teorik çalışma için pratik değildir. Özellikle, gamma ışınlarının bir ortamdaki davranışının teorik olarak araştırılması Monte Carlo yöntemi kullanarak, bilgisayarlarla yapılmaktadır [3-8]. Bu tür çalışmalarda araştırmacılar tabule edilmiş değerler yerine, bilgisayar zamanı ve hata olasılığının azlığı nedeniyle, fonksiyonlarla çalışmayı yeğlerler.

Olası nükleer kazalar ve nükleer denemeler sonucu atmosfere yayılacak

radyoizotopların yayınladıkları gamma ışınlarının davranışlarının belirlenmesi hayati önemdedir[9-15]. Bu nedenle çalışmada ortam olarak atmosfer seçilmiş, tesir kesitlerinin enerjiye göre değişimleri için fonksiyonlar türetilmiştir.

## YÖNTEM

Nükleer kazalar ve denemeler sonucu atmosfere yayılması olası radyoizotopların gamma ışınlarının enerjileri 30 KeV ile 1.5 MeV arasındadır[16]. Çalışmada bu enerji aralığı dikkate alınmıştır.

Gamma ışınlarının madde ile etkileşmesinde baskın olan olaylar Compton olayı, fotoelektrik olay ve çift oluşumdur. Çift oluşumu için gerekli enerji 1.02 MeV olduğundan, bu olay göz ardı edilmiştir.

İncelenen olaylara ait tesir kesitleri ve toplam tesir kesitleri için J.H. Hubell tarafından tablo 1 de verilen kesikli değerler kullanılmıştır[1].

Tablodaki tesir kesitlerinin enerjiye göre değişimleri incelenerek, tarafımızdan bu değişimlere uygun birer  $F(E_i, p_i)$  fonksiyonu önerilmiştir. Önerilen bu fonksiyonlar enerjiye  $p_i$  ile tanımlanan parametrelerle bağlıdır. Bu parametreler bilgisayar yardımıyla sistematik olarak değiştirilerek fonksiyonun tablodaki tesir kesiti değerleri ile uyuşması sağlanabilir.

Önerilen fonksiyonun verilen değerlerle en iyi uyuşumu, çalışılan enerji aralığındaki her enerjide fonksiyonun verdiği tesir kesiti değerleri ile tablodan alınmış değerler arasındaki farkların karelerinin toplamının minimum olmasıyla mümkündür. Yani,

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n [\sigma_i - F(E_i, p_i)]^2$$

bağıntısında  $\chi^2$  minimum olmalıdır. Burada n tabloda verilen değer sayısı,  $s_i$  tabloda gösterilen tesir kesiti değeri ve  $F(E_i, p_i)$ , bu enerjide fonksiyonun verdiği tesir kesiti değeridir. En iyi uyuşum  $\chi^2 = 0$  olduğunda gerçekleşir[17].

Çalışmada her değişim için ayrı ayrı önerilen fonksiyonlardaki parametreler tarafımızdan geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla sistematik olarak değiştirilerek  $\chi^2$  yi minimum yapan değerleri saptanmıştır.

Aşağıda elastik saçılma, inelastik saçılma, fotoelektrik olay, elastik toplam ve inelastik toplam tesir kesitlerinin enerjiye göre değişimi için

G.KAYNAK/ATMOSFERDE GAMMA IŞINLARININ TESİR KESİTLERİNİN ENERJİYLE DEĞİŞİMİ

önerilen fonksiyonlar, bunlara ait parametreler ve uyuşumun ölçütü olan  $\chi^2$  değerleri verilmiştir. Enerji (E) MeV cinsinden alınmıştır.

Elastik Saçılma: (cm<sup>2</sup>/g)

$$\sigma(E) = \frac{P_1}{1 + P_2 E + P_3 E^2 + P_4 E^3} + P_5 e^{-E}$$

$$\chi^2 = 2.66 \cdot 10^{-2}$$

$$P_1 = 4.510 \cdot 10^{-1} \quad P_2 = 58.146 \quad P_3 = -276.337 \quad P_4 = 547.696 \quad P_5 = 4.163 \cdot 10^{-2}$$

Inelastik Saçılma: (cm<sup>2</sup>/g)

$$\sigma(E) = \frac{1}{P_1 + P_2 E + P_3 E^2 + P_4 E^3}$$

$$\chi^2 = 7.32 \cdot 10^{-4}$$

$$P_1 = 1.979 \cdot 10^{-1} \quad P_2 = 3.461 \quad P_3 = -2.073 \quad P_4 = 6.852 \cdot 10^{-1}$$

Fotoelektrik Olay: (cm<sup>2</sup>/g)

$$\sigma(E) = \exp\{P_1 + P_2 E + P_3 \exp(P_4 E^{P_5})\}$$

$$\chi^2 = 5.394 \cdot 10^{-2}$$

$$P_1 = -15.108 \quad P_2 = -1.018 \cdot 10^{-1} \quad P_3 = 30.699 \quad P_4 = -2.362 \quad P_5 = 2.921 \cdot 10^{-1}$$

Elastik Saçılma Toplam: (cm<sup>2</sup>/g)

$$\sigma(E) = \exp\{P_1 + P_2 \sqrt{E} + P_3 \exp(P_4 E^{P_5})\} + P_6 E + P_7 E^2$$

$$\chi^2 = 1.99 \cdot 10^{-2}$$

$$P_1 = -1.931 \quad P_2 = -1.018 \cdot 10^{-1} \quad P_3 = 198.966 \quad P_4 = -13.341 \quad P_5 = 2.608 \cdot 10^{-1}$$

$$P_6 = -1.143 \cdot 10^{-3} \quad P_7 = 3.859 \cdot 10^{-2}$$

Inelastik Saçılma Toplam: (cm<sup>2</sup>/g)

$$\sigma(E) = \exp\{P_1 + P_2 E + P_3 \exp(P_4 E^{P_5})\} + \frac{P_6}{1 + P_7 E + P_8 E^2 + P_9 E^3}$$

$$\chi^2 = 6.469 \cdot 10^{-3}$$

$$P_1 = -15.062 \quad P_2 = -1.018 \cdot 10^{-1} \quad P_3 = 30.783 \quad P_4 = -2.389 \quad P_5 = 2.921 \cdot 10^{-1}$$

$$P_6 = 1.968 \cdot 10^{-1} \quad P_7 = 3.235 \quad P_8 = -1.519 \quad P_9 = 3.832 \cdot 10^{-1}$$

### SONUÇ ve TARTIŞMA

Tablo 1 den alınan kesikli enerji değerlerine karşın önerilen fonksiyonların verdiği tesir kesiti değerleri tablo 2 de verilmiştir. Tablo 1 ve tablo 2 de aynı enerji değerine karşı gelen tesir kesitleri birbiriyle uyuşmaktadırlar

Bilgisayarda çizilmiş şekil 1,2,3,4 ve 5 te ise elastik saçılma, inelastik saçılma, fotoelektrik olay, elastik toplam ve inelastik toplam tesir kesitlerinin enerjiyle değişimi için önerilen fonksiyonlar ve kesikli enerji değerlerine karşı tablo 1 den alınmış tesir kesiti değerleri görülmektedir. Şekillerdeki 0 şeklindeki noktalar tablo 1 den alınmış enerjiyle tesir kesitinin kesikli değişimi göstermektedir. Kesikli çizgiyle gösterilen sürekli değişim ise önerilen fonksiyonun değişimidir. Burada da uyuşum görülmektedir.

Atmosferde gamma ışınlarının davranışının incelenmesinde, çeşitli enerjiler için gerekli tesir kesiti değerleri için bu fonksiyonların kullanımının uygun olacağı kanısındayız.

### KAYNAKLAR

1. Hubbell,J.H., National Bureau Standarts, NSRDS-NBS, 29, (1969).
2. Storm,E., Israel.H.I., *Nucl. Data Tables*, A7 (1970) 565.
3. Minato,S., *Nucl. Sci. Eng.*, 51 (1973) 32.
4. Minato,S., *Rad. Res.*, 56 (1973) 1.
5. Minato,S., *Nucl. Instr. and Meth.*, 131 (1975) 157.
6. Sherbini,S., Tamasanis,D., Sykes,J., Porter,S.W., *Health Physics* 51 (1986) 699.
7. Doi,K., Chan,H.P., *Radiology*, 135 (1980) 199.
8. Wecksung,G.W., Walker,J.J., Brown,R.T., *Nucl. Inst. and Meth.*, 95 (1971) 605.
9. Swarup,J., Ganguly,A.K., *Indian J. Pure Appl. Phys.*, 13 (1975) 595.
10. Swarup,J., *Indian J. Pure Appl. Phys.*, 17 (1979) 381.
11. Swarup,J., *Nucl. Inst. and Meth.*, 172 (1980) 559.
12. Swarup,J., Minato,S., *Indian J. Pure Appl. Phys.*, 21 (1983) 702.
13. Uehara,S., Hoshi,M., Sawada,S., Nagatomo,T., Ichikawa,Y., *Health Phys.*, 54 (1988) 249
14. Momeni,M.H., *Health Phys.*, 49 (1985) 310.
15. Simons,H.A.B., Comet,S., *Phys. in Med. and Bio.*, 3 (1959) 233
16. Nuclear Data Proj. Rept. ORNL-5114 (1976)
17. Lyons,L., *Statistics for Nuclear and Particle Physicists*, Cambridge University Press, (Cambridge 1989) 74.

G.KAYNAK/ATMOSFERDE GAMMA IŞINLARININ TESİR KESİTLERİNİN ENERJİYLE DEĞİŞİMİ

Tablo 1: Gamma ışınlarının tesir kesitlerinin atmosferde çeşitli enerjilerdeki değerleri

gamma enerji (MeV)	saçılma			toplam	
	elastik (cm <sup>2</sup> /g)	inelastik (cm <sup>2</sup> /g)	fotoelektrik (cm <sup>2</sup> /g)	elastik (cm <sup>2</sup> /g)	inelastik (cm <sup>2</sup> /g)
1.00 10 <sup>-2</sup>	3.64 10 <sup>-1</sup>	1.93 10 <sup>-1</sup>	4.63	4.99	4.82
1.50 10 <sup>-2</sup>	2.85 10 <sup>-1</sup>	1.89 10 <sup>-1</sup>	1.27	1.55	1.45
2.00 10 <sup>-2</sup>	2.47 10 <sup>-1</sup>	1.86 10 <sup>-1</sup>	5.05 10 <sup>-1</sup>	7.52 10 <sup>-1</sup>	6.91 10 <sup>-1</sup>
3.00 10 <sup>-2</sup>	2.11 10 <sup>-1</sup>	1.80 10 <sup>-1</sup>	1.39 10 <sup>-1</sup>	3.49 10 <sup>-1</sup>	3.18 10 <sup>-1</sup>
4.00 10 <sup>-2</sup>	1.93 10 <sup>-1</sup>	1.74 10 <sup>-1</sup>	5.53 10 <sup>-2</sup>	2.48 10 <sup>-1</sup>	2.29 10 <sup>-1</sup>
5.00 10 <sup>-2</sup>	1.81 10 <sup>-1</sup>	1.69 10 <sup>-1</sup>	2.70 10 <sup>-2</sup>	2.08 10 <sup>-1</sup>	1.96 10 <sup>-1</sup>
6.00 10 <sup>-2</sup>	1.73 10 <sup>-1</sup>	1.64 10 <sup>-1</sup>	1.52 10 <sup>-2</sup>	1.88 10 <sup>-1</sup>	1.79 10 <sup>-1</sup>
8.00 10 <sup>-2</sup>	1.61 10 <sup>-1</sup>	1.56 10 <sup>-1</sup>	6.06 10 <sup>-3</sup>	1.67 10 <sup>-1</sup>	1.62 10 <sup>-1</sup>
1.00 10 <sup>-1</sup>	1.51 10 <sup>-1</sup>	1.48 10 <sup>-1</sup>	2.94 10 <sup>-3</sup>	1.54 10 <sup>-1</sup>	1.51 10 <sup>-1</sup>
1.50 10 <sup>-1</sup>	1.35 10 <sup>-1</sup>	1.33 10 <sup>-1</sup>	8.05 10 <sup>-4</sup>	1.36 10 <sup>-1</sup>	1.34 10 <sup>-1</sup>
2.00 10 <sup>-1</sup>	1.23 10 <sup>-1</sup>	1.22 10 <sup>-1</sup>	3.24 10 <sup>-4</sup>	1.23 10 <sup>-1</sup>	1.23 10 <sup>-1</sup>
3.00 10 <sup>-1</sup>	1.07 10 <sup>-1</sup>	1.06 10 <sup>-1</sup>	9.30 10 <sup>-5</sup>	1.07 10 <sup>-1</sup>	1.06 10 <sup>-1</sup>
4.00 10 <sup>-1</sup>	9.53 10 <sup>-2</sup>	9.52 10 <sup>-2</sup>	3.99 10 <sup>-5</sup>	9.54 10 <sup>-2</sup>	9.53 10 <sup>-2</sup>
5.00 10 <sup>-1</sup>	8.70 10 <sup>-2</sup>	8.70 10 <sup>-2</sup>	2.15 10 <sup>-5</sup>	8.70 10 <sup>-2</sup>	8.70 10 <sup>-2</sup>
6.00 10 <sup>-1</sup>	8.05 10 <sup>-2</sup>	8.04 10 <sup>-2</sup>	1.34 10 <sup>-5</sup>	8.05 10 <sup>-2</sup>	8.05 10 <sup>-2</sup>
8.00 10 <sup>-1</sup>		7.07 10 <sup>-2</sup>	6.79 10 <sup>-6</sup>		7.07 10 <sup>-2</sup>
1.00		6.36 10 <sup>-2</sup>	4.20 10 <sup>-6</sup>		6.36 10 <sup>-2</sup>
1.50		5.17 10 <sup>-2</sup>	1.96 10 <sup>-6</sup>		5.18 10 <sup>-2</sup>

G.KAYNAK/ATMOSFERDE GAMMA IŞINLARININ TESİR KESİTLERİNİN ENERJİYLE DEĞİŞİMİ

Tablo 2: Tablo 1de verilen kesikli enerji değerleri için önerilen fonksiyonların verdiği tesir kesiti değerleri

gamma enerji (MeV)	sacılma			toplam	
	elastik (cm <sup>2</sup> /g)	inelastik (cm <sup>2</sup> /g)	fotoelektrik (cm <sup>2</sup> /g)	elastik (cm <sup>2</sup> /g)	inelastik (cm <sup>2</sup> /g)
1.00 10 <sup>-2</sup>	3.32 10 <sup>-1</sup>	1.91 10 <sup>-1</sup>	4.42	5.20	4.50
1.50 10 <sup>-2</sup>	2.91 10 <sup>-1</sup>	1.88 10 <sup>-1</sup>	1.28	1.42	1.43
2.00 10 <sup>-2</sup>	2.62 10 <sup>-1</sup>	1.85 10 <sup>-1</sup>	5.19 10 <sup>-1</sup>	7.21 10 <sup>-1</sup>	6.84 10 <sup>-1</sup>
3.00 10 <sup>-2</sup>	2.23 10 <sup>-1</sup>	1.80 10 <sup>-1</sup>	1.40 10 <sup>-1</sup>	3.64 10 <sup>-1</sup>	3.13 10 <sup>-1</sup>
4.00 10 <sup>-2</sup>	1.98 10 <sup>-1</sup>	1.74 10 <sup>-1</sup>	5.47 10 <sup>-2</sup>	2.60 10 <sup>-1</sup>	2.27 10 <sup>-1</sup>
5.00 10 <sup>-2</sup>	1.81 10 <sup>-1</sup>	1.69 10 <sup>-1</sup>	2.62 10 <sup>-2</sup>	2.15 10 <sup>-1</sup>	1.95 10 <sup>-1</sup>
6.00 10 <sup>-2</sup>	1.69 10 <sup>-1</sup>	1.65 10 <sup>-1</sup>	1.43 10 <sup>-2</sup>	1.90 10 <sup>-1</sup>	1.79 10 <sup>-1</sup>
8.00 10 <sup>-2</sup>	1.53 10 <sup>-1</sup>	1.57 10 <sup>-1</sup>	5.56 10 <sup>-3</sup>	1.63 10 <sup>-1</sup>	1.63 10 <sup>-1</sup>
1.00 10 <sup>-1</sup>	1.44 10 <sup>-1</sup>	1.49 10 <sup>-1</sup>	2.68 10 <sup>-3</sup>	1.49 10 <sup>-1</sup>	1.53 10 <sup>-1</sup>
1.50 10 <sup>-1</sup>	1.32 10 <sup>-1</sup>	1.34 10 <sup>-1</sup>	7.32 10 <sup>-4</sup>	1.31 10 <sup>-1</sup>	1.36 10 <sup>-1</sup>
2.00 10 <sup>-1</sup>	1.26 10 <sup>-1</sup>	1.23 10 <sup>-1</sup>	3.00 10 <sup>-4</sup>	1.22 10 <sup>-1</sup>	1.24 10 <sup>-1</sup>
3.00 10 <sup>-1</sup>	1.10 10 <sup>-1</sup>	1.06 10 <sup>-1</sup>	9.05 10 <sup>-5</sup>	1.08 10 <sup>-1</sup>	1.07 10 <sup>-1</sup>
4.00 10 <sup>-1</sup>	9.19 10 <sup>-2</sup>	9.43 10 <sup>-2</sup>	4.06 10 <sup>-5</sup>	9.72 10 <sup>-2</sup>	9.48 10 <sup>-2</sup>
5.00 10 <sup>-1</sup>	8.39 10 <sup>-2</sup>	8.61 10 <sup>-2</sup>	2.26 10 <sup>-5</sup>	8.78 10 <sup>-2</sup>	8.61 10 <sup>-2</sup>
6.00 10 <sup>-1</sup>	8.41 10 <sup>-2</sup>	7.98 10 <sup>-2</sup>	1.43 10 <sup>-5</sup>	7.95 10 <sup>-2</sup>	7.95 10 <sup>-2</sup>
8.00 10 <sup>-1</sup>		7.08 10 <sup>-2</sup>	7.28 10 <sup>-6</sup>		7.00 10 <sup>-2</sup>
1.00		6.44 10 <sup>-2</sup>	4.49 10 <sup>-6</sup>		6.35 10 <sup>-2</sup>
1.50		5.15 10 <sup>-2</sup>	2.02 10 <sup>-6</sup>		5.28 10 <sup>-2</sup>