Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Cilt 22, Özel Sayı, 297-300, 2018

Süleyman Demirel University
Journal of Natural and Applied Sciences
Volume 22, Special Issue, 297-300, 2018

DOI: 10.19113/sdufbed.21879

Beton Çatıların Sintilatörlü Kozmik Işın Deneyleri Üzerindeki Etkileri

Güral AYDIN[*1]

[1]Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 31034, Hatay

(Alınış / Received: 09.02.2018, Kabul / Accepted: 02.07.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 04.09.2018)

Anahtar Kelimeler
Kozmik ışın,
Geant4,
Beton çatı

Özet: Yeryüzüne inen kozmik ışınların akıları bulunulan bölgenin enlemine, yüksekliğine ve kozmik ışınların geliş yönlerine göre farklılıklar göstermektedir. Herhangi bir bölgede kozmik ışın akısının bilinmesi ise bazı deneylerde zemin değer oluşturması ve atmosferin daha üst katmanlarında kozmik ışın verilerinin daha iyi anlaşılabilmesi gibi sebepler bakımından önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, iki sintilatörlü basit bir düzenek ile yapılabilecek kozmik ışın akısı ölçümlerinde eğer deney kapalı bir ortamda yapılıyorsa beton çatıların deney sonuçlarına etkisi Geant4 benzetim programı ile incelenmiştir. Farklı kalınlıklardaki beton çatıların akı hesapları üzerinde meydana getirdiği değişiklikler not edilmiştir. Beton çatıların kalınlığı ile beraber her iki sintilatöre çarpan parçacık sayılarında önemli değişmeler olabileceği not edilmiştir.

The Effects of Concrete Floors on Cosmic Ray Experiments with Scintillators

Keywords
Cosmic-ray,
Geant4,
Concrete floor

Abstract: The flux of cosmic rays reaching the earth could be different in terms of latitude and altitude of a region and azimuthal angle of the cosmic rays. Knowing the flux of cosmic ray in any region could be important for some reasons such as producing background in experiments and investigating cosmic rays in upper parts of the atmosphere with existing cosmic ray information. In this study, the effect of concrete floors on experimental results carried out with two scintillators to measure cosmic ray flux with Geant4 simulation program if the experiment is performed in a closed environment. The changes on flux measurements caused by a concrete floor with different thicknesses were noted. Important changes on the number of particles hitting both scintillators were noted with different floor thicknesses.

1. Giriş

Yeryüzüne inen kozmik ışınlar farklı amaçlar için kullanılabilmektedir. Bunlardan bir tanesi müon radyografisinde nesnelerin tespitinin sağlanmasıdır. Kozmik müonların madde içerisinden geçerken çoklu saçılmalara uğraması maddenin radyasyon uzunluğuna bağlı olduğundan çıkışta yönündeki sapma maddenin özelliklerine bağlı olacaktır. Bu sayede özellikle güvenlik alanında istenmeyen maddelerin tespiti amacı ile kozmik ışınlar kullanılabilmektedir [1-2]. Diğer bir kullanım alanı ise bazı deneyler için detektörlerin kontrol edilmesi ve düzeninin sağlanması amaçları için parçacık kaynağı olarak kullanılmasıdır. Öte yandan kozmik ışınların akı değerleri birkaç nokta açısından önemlidir. Örneğin, kozmik ışınlar bazı deneyler için önemli ölçüde zemindeğer oluşturabilir ve bu yüzden ilgili bölgede kozmik ışınların akısını bilmek önemlidir. Nükleon bozunma deneyleri bu tür deneylere bir örnektirler [3-4]. Diğer taraftan, yeryüzünde belirli bölgelerde ölçülen kozmik ışınlar hakkındaki veriler ana kozmik ışın verileri ile beraber değerlendirildiklerinde atmosferin üst katmanlarındaki kozmik ışınlar hakkında bilgiler verebilmektedir [5]. Yeryüzüne yaklaşık olarak dik inen kozmik ışınların akısının hesaplanmasına dair basit bir örnek birbirlerine paralel yerleştirilmiş ve aralarında belli bir mesafe bulunan iki sintilatör paletinin kullanılmasıdır [6]. Bu düzenek ile yeryüzüne dik inen kozmik ışınların akısı her iki sintilatörden geçen ışınların sayısı kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu sayı doğrudan akı ile orantılıdır. Bu çalışmanın amacı açık havada yapılamayan böyle bir kozmik ışın deneyinde farklı kalınlıklardaki beton çatıların temel olarak parçacıkları çoklu saçılmaya uğratmasından ötürü deneyin sonucuna etkilerini ortaya çıkarmaktır. Sonuçlar, yüksek enerji ve parçacık fiziğinde

*Sorumlu yazar: guralaydin@gmail.com

kullanılan Geant4 benzetim programı kullanılarak elde edilmiştir [7-9].

2. Materyal ve Metot

Hesaplamada kullanılan Geant4 programı parçacıkların malzeme ile etkileşmelerinin ve malzeme içerisindeki ilerlemesinin benzetimini yapan bir programdır. Yüksek enerji fiziği, nükleer fizik ve hızlandırıcı fiziğinin yanında tıp ve uzay bilimlerinde de uygulamaları mevcuttur. Program benzetimi yapılan şu süreçleri içermektedir: sistemin geometrisi, geometri içerisinde yer alan malzemeler, ilgilenilen temel parçacıkların tanımlanması, ana ışın parçacıkların üretilmesi, parçacıkların malzeme içerisinde ve/veya elektromanyetik alan içerisinde izlerinin sürülmesi, parçacık etkileşmelerini yöneten fiziksel süreçlerin tanımlanması, duyarlı detektör bileşenlerinin tepkilerinin oluşturulması, ana etkileşme sonucu ortaya çıkan ve istenilen verilerin üretilmesi, her bir etkileşme sonucu ortaya çıkan verilerin saklanması, detektörlerin ve parçacıkların izlediği yolların görselleşmesi, farklı seviyelerde verilerin yakalanması ve analizinin yapılması. Programda yer alan fiziksel süreçler ise şu başlıklar altında sınıflandırılabilir: elektromanyetik etkileşmeler, hadronik etkileşmeler, parçacık bozunma süreçleri, gama-nükleer ve lepto-nükleer süreçler, optik foton süreçleri, parametrizasyon ve parçacıkların taşınma süreçleri.

Diğer taraftan deney düzeneğinde yer alan benzetimi yapılan sintilasyon malzemesi olarak bu tür deneylerde tercih edilen yüksek tepki zamanlı BC418 tipi bir plastik sintilatör seçilmiştir [10]. Bu tür sintilatörler, hızlı zamanlama ve yüksek sayım uygulamalarında kullanılmak üzere tercih edilmektedir. Bu malzemenin 1.032 g/cm^3 olan yoğunluğu, 11650 foton/MeV olan ışık verimliliği, 1.4 ns olan bozunma sabiti ve karbon ve hidrojenden oluşan bileşik yapısı benzetim programının içerisine sintilasyon özellikleri olarak yerleştirilmiştir. Beton çatıyı oluşturan malzeme ise [11] referansında belirtilen malzemelerin karışımından oluşturulmuştur.

Geant4 programında kullanılan enerji dağılımı deniz seviyesinde müonların enerji dağılımını veren G4beamline[12] programı ile elde edilmiştir. G4beamline programında aynı deney düzeneği kurularak her iki sintilatörden geçen ışınların enerji dağılımı elde edilmiştir. G4beamline programında istenilen detektör geometrisi oluşturulabilmekte ve detektörler istenilen malzeme ile doldurulabilmektedir. Programda iki farklı detektör tipi tanımlanabilmektedir: sanal detektörler ve gerçek detektörler. Sanal detektörler parçacıklarla etkileşmeye girmeyen ama kendisine ulaşan tüm parçacıkların konum, momentum gibi bilgilerini veren detektörler olarak görev yaparlar. Gerçek detektörler ise içerisinden geçen parçacıkların detektörün doldurulduğu malzeme ile etkileşmesine olanak sağlarlar. Bu modelde yeryüzüne paralel ve ön değer olarak sintilatör malzemesi ile tanımlı iki detektör geometride yerleştirilerek her iki detektörden de geçen kozmik müonların enerji dağılımları elde edilmiştir. Programda pozitif veya negatif müon ayrımı yapılmadan program içerisinde üretilen tüm kozmik müonlar üzerinden analiz yapılmıştır.

G4beamline programında her bir parçacığın enerji değerleri elde edilebilmektedir. Bu sayede istenilen sıklıkta enerji dağılımı Geant4 programında kullanılmak üzere oluşturulabilmektedir. G4beamline ile bu yol ile elde edilen enerji dağılımı çizelgeye dönüştürülerek Geant4 programında birikimli fonksiyona dönüştürüldü. Birikimli fonksiyonda bir noktadaki değer bir önceki noktadaki değere iki değer toplamı iki nokta arasındaki enerji farkı oranında eklenerek elde edilir. Daha sonra düzgün dağılmış rastgele sayılar üzerinden bu birikimli fonksiyon istenilen enerji dağılımını vermek üzere ters çevrildi. Bu sayede, G4beamline ile elde edilen müonların enerji dağılımı Geant4 programında kullanılabilmiştir.

Müonlar detektör sistemine dik olarak ve sintilatör alanı içerisinde rastgele bir noktaya doğru yönlendirilmiştir. Beton çatı yok iken ve belli kalınlıklarda beton bloğun olduğu durumlar (1 cm, 2 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm) göz önüne alınarak her iki sintilatörden geçen kozmik ışınların sayısındaki farklılıklar hesaplanmıştır. 20 cm x 20 cm yüzey alanına sahip 5 mm kalınlıkla iki sintilatör arasında bırakılan 160 cm' lik mesafe sintilatör alanına yaklaşık olarak dik inen ışınların her iki sintilatörden geçebileceği bir düzenek oluşturmaktadır. Beton çatı ise en alttaki detektörden 300 cm üstte yerleştirilmiştir.

3. Bulgular

Geant4 programında kaynak olarak kullanılan kozmik ışınların enerji dağılımı Şekil 1. ile verilmektedir. Programda her bir yapılandırma için yapılan benzetim çalıştırmaları için 20000 olay (20000 kozmik müonun ilgili bölgeye yönlendirilmesi) üretilmiştir. İlk olarak, kullanılan sintilatörün bu enerji dağılımına karşı verdiği tepkiyi görme açısından arada hiçbir engel olmadan ışınlar tek bir sintilatöre yönlendirilmiş ve Şekil 2.'de verilen sintilatörde oluşan olay başına optik foton sayısının dağılımı elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere olay başına foton sayısı dağılımı 7000 civarından başlamakta ve daha yüksek foton sayılarında kuyruk oluşturmaktadır. İdeal bir detektörden beklenen bu durumun yanı sıra gerçek bir deneyde elektronik gürültü gibi bazı faktörler bu dağılımı özellikle düşük foton sayıları oluşturacak ya da dağılımı hafif olarak bozacak şekilde etkileyebilmektedir. Gerçek bir deneyde, bu gibi durumlar gerekli sınırlamalar ve eşik değerleri oluşturularak ortadan kaldırılabilmektedir. Kozmik müonlar sintilatör

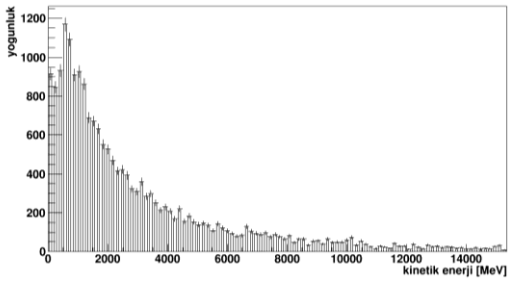
bölgesine rastgele konumlarda gönderilmiştir. Şekil 3. ve Şekil 4.'e bakıldığında bu dağılımın bütün sintilatör bölgesinde hemen hemen eşit oranda olduğu görülmektedir. Programda x ekseni yeryüzüne dik doğrultu olarak seçilmiş, y ve z eksenleri ise diğer doğrultuları yani sintilatör düzlemindeki eksenleri oluşturmuştur. Son olarak, beton çatı yok iken ve farklı kalınlıklarda yerleştirildiği durumlarda kozmik müonların her iki sintilatörden geçtiği olay sayıları not edilmiş ve Tablo 1. ile verilmiştir. Bu verilerden beton çatıların kalınlıkla beraber sintilatörlere ulaşan parçacık sayılarını önemli ölçüde azalma yönünde etkilediği anlaşılmaktadır. Bu oranın 50 cm beton kalınlığı için 43% seviyelerine ulaşabildiği görülmektedir. Bu durumun ayrıca sintilatör bölgesine çarpan ışınların konumlarına göre de değişebileceği göz önüne alınmalıdır. Ayrıca, çoklu Coulomb saçılmaları sonucu müonların açısal saçılma dağılımlarının yaklaşık olarak Gaussian şeklinde olduğu not edilmelidir. Bu dağılımın genişliği Denklem 1. ile verilmektedir [13]. Göreceli olarak daha düşük enerjili parçacıkların daha fazla sapmaya uğrayacağı göz önüne alınmalıdır. Bu bilgi beton çatının varlığından dolayı tespit edilemeyen parçacıkların sayısının gelen ışın enerjilerine göre farklı olacağı sonucunu doğurmaktadır.

$$\sigma_\theta = \frac{13.6\ \text{MeV}}{\beta c p}\sqrt{\frac{x}{X_0}}\left[1 + 0.038\ ln\frac{x}{X_0}\right] \qquad (1)$$

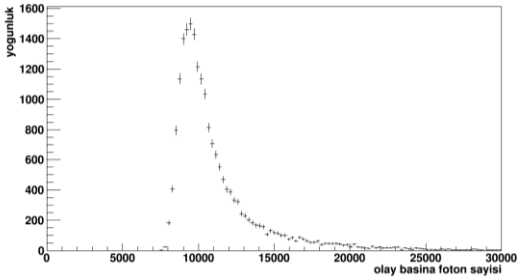
Burada, p müonların momentumlarını, βc gelen parçacıkların hızlarını, x maddenin kalınlığını ve X_0 maddenin radyasyon uzunluğunu temsil etmektedir. Örnek olarak, 10 cm kalınlığa sahip beton çatı için alttaki sintilatöre ulaşamayan parçacıkların enerji dağılımı Şekil 5. ile verilmiştir. Şekil 5.'de görüldüğü üzere düşük enerjili parçacıklar daha fazla sayıda sintilatöre ulaşmamaktadırlar.

4. Tartışma ve Sonuç

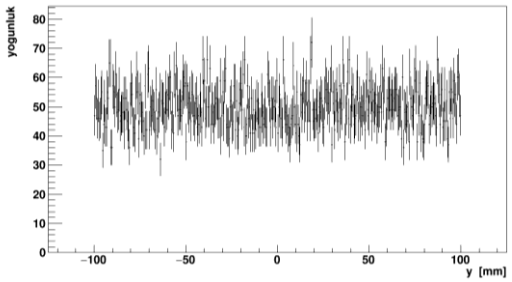
Bu çalışma ile sintilatör detektörleri ile yapılabilen kozmik ışın deneylerinde beton çatıların sintilatörlere ulaşan parçacık sayısında ne gibi değişikliklere yol açtığı Geant4 benzetim programı ile incelenmiştir. Gelen ışınların sintilatör bölgesine benzeşik olarak dağılımı oluşturulmuştur. Bu koşullar altında elde edilen sonuçlar kalınlıkla beraber beton çatıların bu tür deneyler üzerinde önemli etkiler yaptığını göstermiştir. 1 cm kalınlıkta beton çatı durumunda dahi önemli bir kaybın olacağı anlaşılmaktadır. Madde içerisinde oluşan çoklu saçılmaların gelen parçacıkların enerjisine bağlı olarak göreceli olarak daha düşük enerjili parçacıklar için aynı mesafede daha fazla olacağı not edilmelidir. Bu gerçeklik beton çatıların aynı zamanda enerji dağılımı ölçümleri amacıyla yapılabilecek sintilatörlü deneyler üzerinde de etkili olacağı sonucunu göstermektedir. Ayrıca, sintilatör bölgesine gelen parçacıkların uzaysal dağılımının da sonuçları etkileyebileceği düşünülmelidir.



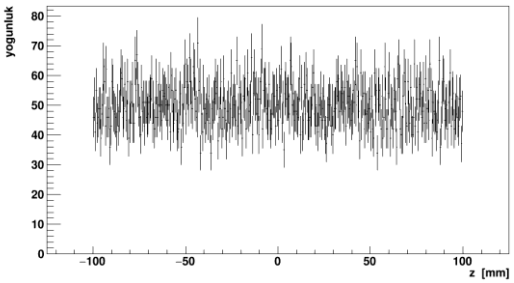
Şekil 1. Deniz seviyesindeki kozmik ışınların Geant4 ile oluşturulan enerji dağılımı.



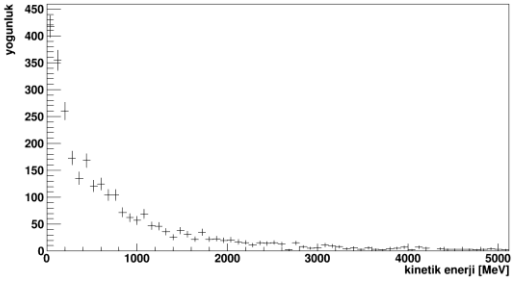
Şekil 2. Tipik olarak kozmik ışınlara maruz kalan bir sintilatörde ortaya çıkan fotonların dağılımı.



Şekil 3. Kozmik ışınların sintilatör bölgesindeki y-ekseni üzerindeki konumları.



Şekil 4. . Kozmik ışınların sintilatör bölgesindeki z-ekseni üzerindeki konumları.



Şekil 5. 10 cm kalınlıklı beton için alttaki sintilatöre ulaşamayan kozmik ışınların enerji dağılımı.

Tablo 1. Beton var iken ve yok iken her iki sintilatörden geçen parçacık sayıları (N) ve beton olmadığı duruma göre yüzdelik değişimleri (Δ%).

Beton Kalınlığı (cm)	Parçacık sayısı (N)	Yüzdelik Fark (Δ%)
0	19606	0
1	18033	8
2	17328	11.6
5	16145	17.6
10	15025	23.4
15	14080	28.2
20	13586	30.7
25	13014	33.6
30	12570	35.9
40	11809	39.8
50	11117	43.3

Teşekkür

Yazar değerli yorumlarından ötürü Prof. Dr. Mithat Kaya'ya teşekkürlerini bildirir.

Kaynakça

[1] Morris, C.L., Alexander, C.C., Bacon, J.D., Borozdin, K.N., Clark, D.J., Chartrand, R., Espinoza, C.J., Fraser, A.M., Galassi, M.C., Green, J.A., Gonzales, J.S., 2008. Tomographic imaging with cosmic ray muons. Science & Global Security, 16(1-2), 37-53.

[2] Aguiar, P., Casarejos, E., Vilan, J.A., Iglesias, A., 2013, June. Geant4-GATE simulation of a large plastic scintillator for muon radiography. In Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA), 2013 3rd International Conference on (1-5). IEEE.

[3] Nieto, M.M., Haxton, W.C., Hoffman, C.M., Kolb, E.W., Sandberg, V.D., Toevs, J.W., 1983. Science underground (Los Alamos, 1982) (No. CONF-820989-). American Institute of Physics, New York, NY.

[4] Perkins, D.H., 1984. Proton decay experiments. Annual Review of Nuclear and Particle Science, 34(1), 1-50.

[5] Honda, M., Kasahara, K., Hidaka, K. and Midorikawa, S., 1990. Atmospheric neutrino fluxes (No. INS--833). Tokyo Univ..

[6] Atakan, M. 2014. Kars Bölgesinde ölçülen Kozmik Işın Akı Yoğunluğu. Kars Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63s, Kars.

[7] Agostinelli, S., Allison, J., Amako, K.A., Apostolakis, J., Araujo, H., Arce, P., Asai, M., Axen, D., Banerjee, S., Barrand, G.2., Behner, F., 2003. GEANT4—a simulation toolkit. Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 506(3), 250-303.

[8] Allison, J., Amako, K., Apostolakis, J.E.A., Araujo, H.A.A.H., Dubois, P.A., Asai, M.A.A.M., Barrand, G.A.B.G., Capra, R.A.C.R., Chauvie, S.A.C.S., Chytracek, R.A.C.R., Cirrone, G.A.P., 2006. Geant4 developments and applications. IEEE Transactions on nuclear science, 53(1), 270-278.

[9] Allison, J., Amako, K., Apostolakis, J., Arce, P., Asai, M., Aso, T., Bagli, E., Bagulya, A., Banerjee, S., Barrand, G., Beck, B.R., 2016. Recent developments in Geant4. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 835, 186-225.

[10] Saint-Gobain, 2017. Saint-Gobain Crystals, http://www.crystals.saint-gobain.com (Erişim Tarihi: 05.12.2017).

[11] Singh, V.P., Medhat, M.E. and Badiger, N.M., 2014. Utilization of Geant4 Monte Carlo simulation method for studying attenuation of photons in normal and heavy concretes at high energy values. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 300(1), 325-331.

[12] Roberts, T. 2016. G4beamline User's Guide. http://g4beamline.muonsinc.com. (Erişim Tarihi: 05.12.2017).

[13] Schultz, L.J., Borozdin, K.N., Gomez, J.J., Hogan, G.E., McGill, J.A., Morris, C.L., Priedhorsky, W.C., Saunders, A., Teasdale, M.E., 2004. Image reconstruction and material Z discrimination via cosmic ray muon radiography. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 519(3), 687-694.