

Kozmik Işınlar Arasında Sayılan İyonlaştırıcı Radyasyon Niteliği Olmayan Müonlar ile Nükleer Reaktör, Piramit , Volkan vb Alanların İncelenmesi

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

Fizik Mühendisleri Odası FMO (canguzel.taner@gmail.com)

Müon (**muon**), μ (mü) harfi gösterilen ve elektrona benzer elementer parçacık ya da temel parçacık kabul edilmektedir. Kararsız atomaltı parçacık olan müon'un ortalama ömrü 2.2 mikrosaniye mertebesindedir. Radyoaktif bozunma enerjisinden çok daha büyük kütle ve enerjiye sahip olmaları nedeniyle müonlar; radyoizotoplar benzeri atomların radyoaktif parçalanma süreci ve radyoaktif bozunma periyodu yaşamamaktadır. Böylece müonlar, iyonlaştırıcı radyasyonlar özelliği ve niteliği olmayan ultraviyole ışınlar gibi uzaydan gelen kozmik ışınlar çeşitleri arasına girmektedir. Müonlar, Amerika Birleşik Devletleri Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü (**California Institute of Technology - Caltech**) bilim insanları Fizikçi Dr **Carl D. Anderson** ve Fizikçi Dr **Seth Neddermeyer** tarafından 1936 yılında keşfedilmiştir. Baz yüklü temel enerji kaynağı karbonsuz nükleer güç santralleri NGS reaktörleri, volkanik yanardağlar, tarihsel yapılar, antik eserler, endüstriyel tesisler gibi yerlerin görüntü alınması zor bölgelerinin müon görüntüleme (moun imaging) teknolojisi, diğer bir adı müon tomografi (**muon tomography**) tekniği kanalıyla incelenmesi bu yazıda ele alınmaktadır.

Başkent Kahire yakınlarında Giza kentinde 4500 yıllık Büyük Piramit (**Great Pyramid**)'in içerisinde keşfedilen gizli koridorun ilk kamera görüntüsü, Mart - 2023 de Mısır yetkilileri tarafından yayımlanmıştır. **Giza Büyük Piramiti (Great Pyramid of Giza)** esrarengiz koridoru, 2016 yılında müon görüntüleme (muon imaging) tekniği sayesinde keşfedilmiştir. Girişimsel olmayan teknik (non invasive technique) sayılan müon görüntüleme ile uzaydan gelen kozmik ışın (**cosmic ray**) partikülleri olan müonlar kullanılmaktadır. Müon parçacıkları, katı malzemeler içerisindeki yoğunluk ve yapı taşlarını dedekte etmek suretiyle görüntü sağlamaktadır. Müon partikülleri görüntüleme sistemi kapsamında bilim insanları 30 adet farklı modelleme tekniği geliştirmiştir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı - **UAEA (International Atomic Energy Agency - IAEA)**, müon görüntüleme teknikleri ile ilgili **Muon Imaging | IAEA** adı altında güncel bir kitap yayımlamıştır. Söz konusu kitap, tahribatsız test cihazları sayılan müon görüntüleme yoluyla büyük yapıların içerisinde doğru, hassas ve ayrıntılı üç boyutlu görüntü temini konuları hakkında uzmanları bilgilendirmektedir.

Büyük patlama sonucu 13 milyar 700 milyon yıl önce oluşan kainat, uzay içinde yaklaşık ışık hızı ile ilerleyen sayısız kozmik ışınlar ile kaplanmış bir durumdadır. Kozmik ışınlar, güneş ve çok uzak galaksilerde meydana gelen süpernova patlamaları (**supernova explosions**)'ndan kaynaklanmaktadır. Güneş sistemi içinde yaşamaya elverişli yegâne mavi gezegen dünya; atomaltı parçacık niteliği taşıyan ve saniyede trilyonun üzerinde sayıdaki kozmik ışınlar ile bombardımana maruz kalmaktadır. Kozmik ışınlar atmosfer tabakasına çarptığı zaman mavi gezegenimizin manyetik alanı tarafından etkilenerek sapmaya uğramakta ve bazıları ise herhangi bir zarara neden olmaksızın yeryüzüne kadar ulaşmaktadır. Mevzu bahis kozmik ışınlar atmosfer içinden geçerken bir dizi fiziksel tepkimeler ve kimyasal reaksiyonlar neticesi bir tür yeni atomaltı parçacıklar oluşturmaktadır. Ortaya çıkan yeni atom altı partiküller yağmuru arasında bahse konu müonlar da yer almaktadır.

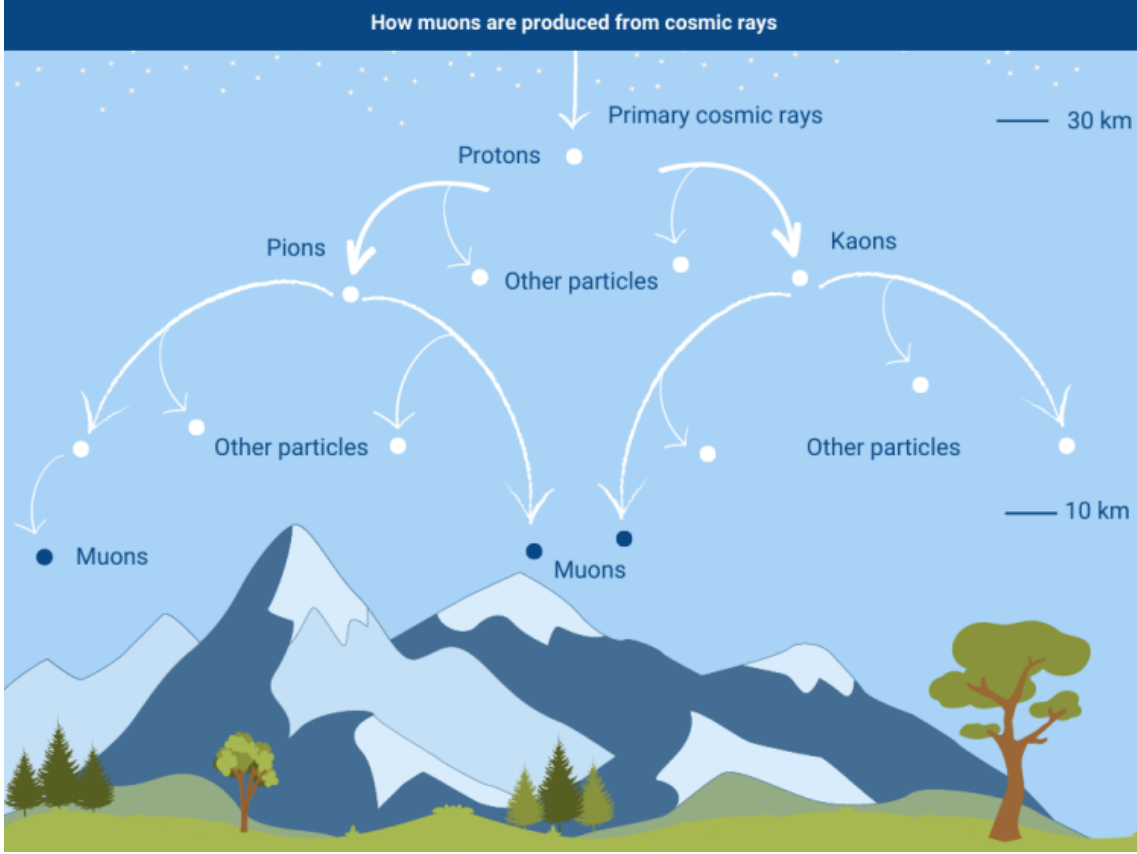
Mısır Büyük Piramiti (**Great Pyramid**) içinde keşfedilen **Gizli Koridor**, endoskopik görüntüleme sistemi sayesinde aşağıda resmedilmektedir. **Gizli Koridor (Hidden Corridor)** ilk kez **müon görüntüleme - müongrafi (muography)** yöntemi kullanılarak 2016 yılında keşfedilmiştir.



Fotoğraf: Mısır Turizm ve Eski Eserler Bakanlığı (Egyptian Ministry of Tourism and Antiquities)

Esrarengiz parçacık olan müonların özellikleri ise standart model olarak tanımlanan parçacık fiziği kuramı (**particle physics**) prensipleri, teorisi ve kuralları yönünden önemli bilimsel ve teknolojik farklılıklar içermektedir. Örneğin, müonların bazı bilmeceye benzer teknolojik ve bilimsel nitelikleri bilim insanları tarafından henüz yeni keşfedilmiştir. Konvansiyonel radyografi yöntemleri gibi gizemli müonlar sayesinde fiziksel olarak girilmesi mümkün olmayan yapılar, örneğin eski tarihi eserler, volkanlar hatta aşırı yüksek iyonlaştırıcı radyasyon dozları içeren temel baz enerji kaynağı karbonsuz yeni nesil **nükleer güç santrali NGS** reaktörleri kalpleri, elemanları ve donanımları dahi ayrıntılı biçimde gözlenebilmektedir. **Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı - UAEA (International Atomic Energy Agency - IAEA)** uzmanlarından nükleer fizikçi **Dr Ian Swainson**, müonların dünyanın her yerinde takribi ışık hızı ile insanların ve nesnelerin içinden sürekli geçmesine rağmen çıplak gözle görülemediğini ifade etmektedir. İnsan sağlığı, radyasyon güvenliği ve nükleer güvenlik perspektifleri açısından tamamen zararsız olan gizemli müon partikülleri, metrelerce kalınlıkta olan kaya parçaları ve materyaller içerisine nüfuz ederek söz konusu malzemelerin görünmez bölgelerinin kimyasal yapısı ve boyutları hakkında derinliğine bilgi sağlamaktadır. Tıpta teşhis ve tedavi amaçlı kullanılan **X – ışınları** ve **gama ışınları** gibi müon görüntüleme sistemleri ile de sanayide üretilen malzemelerin testleri, kalite kontrolleri ve kalite güvenceleri (**Quality Control and Quality Assurance QC/QA**) çalışmaları ve incelemeleri yürütülmektedir. Öte yandan parçacık fizikçisi **Andrea Giammanco**, tanı ve tedavi yöntemleri radyografi ve radyoterapide uygulanırken röntgen cihazları menşeli **X ışınları** ve radyoaktif kaynaklar kökenli **gama ışınları** ve **lineer parçacık hızlandırıcıları (Linear Particle Accelerator - LINAC)** tarafından üretilen iyonlaştırıcı radyasyonlar kullanılması karşısında kozmik ışınlar müonların ise tamamen uzaydan gelen, zararsız ve doğal iyonlaştırıcı olmayan ışın türleri arasında olduğunu belirtmektedir.

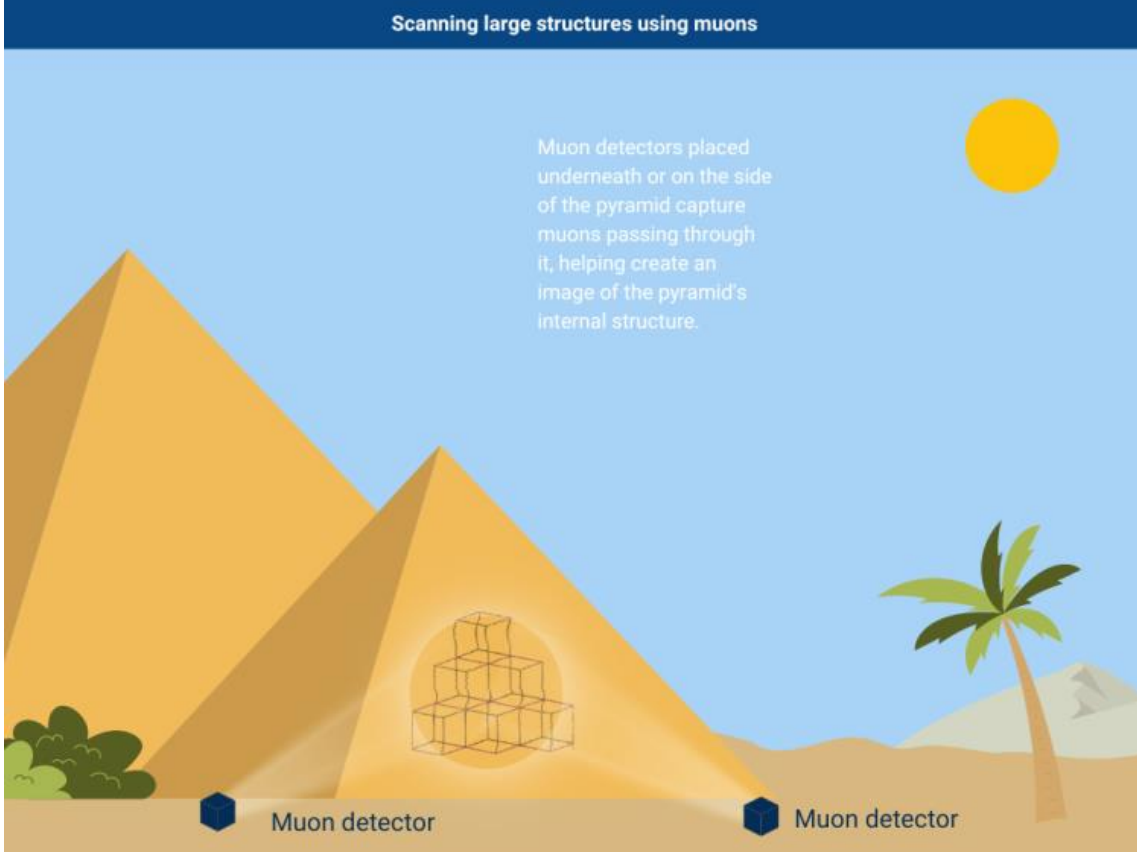
Atmosfer katmanları içine giren primer kozmik ışınlar kanalıyla yaklaşık 20 kilometrelik tabakada oluşan nükleer tepkimeler ve kimyasal reaksiyonlar neticesi proton partikülleri (**protons**), pion parçacıkları (**pions**), kaon partikülleri (**kaon**) ile birlikte bir dizi gizemli müon parçacıkları (**muon**) ve partikülleri meydana gelmesi aşağıdaki resimde canlandırılmaktadır.



Grafik: A. Viasov / IAEA

Genelde **müon grafi (muography)** tekniği ve **müon saçılma tomografisi (Muon Scattering Tomography - MST)** teknolojisi olmak üzere iki tip müon görüntüleme sistemi bulunmaktadır. Müon grafi tekniği kapsamında incelenecek yapının altına ya da bir tarafına, malzemenin içinden geçen müonların yakalamak için bir dedektör yerleştirilmektedir. Materyalin yüksek yoğunluklu bölgeleri, diğer yerlere göre çok daha fazla müon parçacıkları soğurmakta veya absorblamaktadır. Bazı müon partikülleri de incelenen yapıyı baştan başa geçerek karşı taraftaki dedektör tarafından yakalanmaktadır. Elde edilen resimde müonların kolayca geçtiği düşük yoğunluklu bölgeler parlak yerler olarak dikkat çekerken materyalin yüksek yoğunluklu olan kısımları da karanlık olarak görüntülenmektedir. **Müon grafi** teknolojisi, tetkik edilen materyaller tarafından müon parçacıklarının soğurulması ve absorblanması prensibi ve ilkesine dayanmaktadır. **Müon saçılma tomografisi (Muon Scattering Tomography - MST)** teknolojisi ise araştırılan malzemeler içinde müon partiküllerinin saçılması olayını temel almaktadır. Örneğin, **müon saçılma tomografisi** tekniği kapsamında bir otomobil veya yük konteynerinin incelenmesi için karşılıklı her iki tarafa dedektörler yerleştirilmektedir. Uzmanlar, çok sayıda protonları olan yüksek yoğunluklu malzemelerden geçerken müonların nasıl sapmaya uğradığını izlemektedir. Böylece, fiziksel incelemeye tabi tutulmadan aracın ya da yük konteynerinin ayrıntılı dahili görüntüsü tespit edilmektedir.

Gizemli müon parçacıkları kullanılarak tetkiki yapılan yapılardan bir örnek olarak piramitin tetkik edilmesi düzeneği aşağıdaki resimde canlandırılmaktadır. Resimde incelenen yapının alt kısmının iki tarafına müon dedektörleri yerleştirilmiş olup, pramitin içinden geçen müonların yakalanması ilkesinden faydalanılarak tarihi eserin tüm görüntüsü sağlanmaktadır.



Grafik: müon grafi (muography) A. Viasov / IAEA

Atom Enerjisi Ajansı - UAEA (International Atomic Energy Agency - IAEA), müon görüntüleme teknolojileri konusunda son yayımlanan **Muon Imaging | IAEA** kitabı temel müon imaj teknikleri kapsamında farklı dedektör türleri, çeşitleri ve tiplerine odaklanmıştır. Ayrıca, çok geniş içerikli müon görüntüleme teknolojileri uygulamaları da kitapta yer almıştır. Müon imaj sistemleri tatbikatları arasında modern ve eski eserlerin, volkanların, endüstriyel yapıların aynı zamanda nükleer reaktörlerin girilemez bölgelerinin incelenmesi bulunmaktadır. Ayrıca, müon görüntüleme teknikleri sayesinde nükleer güvenlik ve nükleer emniyet perspektifleri doğrultusunda **IAEA** nükleer madde denetimleri (**IAEA safeguards**) de yapılabilmektedir. Böylece, müon tomografi (**muon tomography**) prosesi yardımıyla **Birleşmiş Milletler BM Nükleer Silahların Yayılmasını Önleme Antlaşması (Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons - NPT)** hükümleri gereği nükleer materyallerin kara, deniz ve hava yolları ile taşınması sırasında uluslararası nükleer emniyet ve nükleer güvenlik kriterleri yönünden kontrolleri ve denetimleri yerine getirilmektedir. İlk defa 1950'li yıllarda müon görüntüleme yöntemi **araştırma - geliştirme Ar-Ge** çalışmaları yürütülmüş olup, küresel boyutta geniş bir alanda uygulama sahası bulmuştur. Şimdilerde ise müon grafi tekniği vasıtasıyla İtalya Napoli (**Naples**) kenti yakınlarında bulunan **Vesuvius** Vezüv yanardağı (**Mount Vesuvius**) volkanik yapısı değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Napoli şehri civarındaki Romalılara ait **Pompeii**

kenti ve etrafındaki yerleşim yerleri, milattan sonra **MS 79** yılında **Vezüv - Vesuvius** volkanik yanardağının püskürmesi (**Eruption of Mount Vesuvius in 79 AD**) neticesi çok büyük oranlarda tahribata uğramıştır. Yeni bir Vezüv - **Vesuvius** yanardağı volkanik patlaması vuku bulması halinde yerel halkın zarar görmemesi bağlamında alınacak önlemlerin gözden geçirilmesi için müon dedektörleri kanalıyla yanardağ hakkında modelleme çalışmaları yürütülmektedir. **Vezüv** volkanik yanardağı, 1944 yılı son püskürmesinden beri aktif olmayan durumunu sürdürmektedir. Ayrıca, Çin tarihi eser nitelikli **Xi'an** kenti duvarı, Japonya üzerinden geçen kasırga, yeryüzünün ısınması ve global iklim değişiklikleri mekanizmaları sorunları sonucu ortaya çıkan **Alp** dağları bölgesi (**Alpine region**)'nde erimeye başlayan buzullar, Fransa'da işletme ömrü tamamlanmış olan nükleer reaktörün sökülmesi (**decommissioning**) ve hizmetten çıkarılması çalışmaları, benzer şekilde müon görüntüleme prosesi yoluyla yapılmaktadır. Sonuçta, insan medeniyetin beşiği sayılan ülkelerden biri kabul edilen Türkiye illerindeki tarihi eserlerin ortaya çıkarılması için radyasyonsuz ve tahribatsız muayene yöntemi olan müon tomografi sistemleri uygulamaları, aynı zamanda diğer sektörlerdeki kullanım alanları ile beraber önem taşımaktadır.

Kaynaklar:

- Atom, Radyoaktivite, Radyoizotoplar ve Radyasyon Türleri, Ahmet Cangüzel Taner **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2008.
- Nükleer Güç Santralleri Gelişiminde Nükleer Emniyet ve Nükleer Güvenlik, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2008.
- Evren, İnsan ve İyonlaştırıcı Radyasyonlar, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2010.
- İyonlaştırıcı Radyasyonların Biyolojik Etkileşme Mekanizmaları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2010.
- Yeni Kuşak Radyasyon Teknolojileri Uygulamaları ve Kobalt-60 (Co-60) Gama Işınlama Tesisleri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2010.
- Orta Doğu **Parçacık Hızlandırıcısı (Particle Accelerator) SESAME** Uluslararası Yeni **Siklotronu (Synchrotrons)** Deneysel Bilim ve Uygulamaları Merkezi, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Suudi Arabistan Nükleer Enerji Programı ve Ortadoğu Ülkeleri Zenginleştirilmiş Uranyum ve Plütonyum - 239 (Pu -239) Nükleer Silahlar Üretilmesi Olasılığı, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- İyonlaştırıcı Radyasyonlar Çeşitleri Olmayan Ultraviyole Işınlara (UV – Mor Ötesi Işınlara) ile Yüzey, Hava ve Sulardan COVID19 Virüslerinin Sterilizasyonu, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Elektron Demeti Hızlandırıcılar, Lineer Hızlandırıcılar, Elektrostatik Parçacık Hızlandırıcılar, Siklotronlar, Sinkrotronlar ve İyon Yerleştirme Sistemleri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2022.
- Yüksek Zenginleştirilmiş Uranyum (**Highly Enriched Uranium - HEU**) Yakıtları ile **ABD** Nükleer Bomba Nitelikli Yeni Nesil Atom Silahları Üretilmesi Planı, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2023.
- Muon Imaging: How Cosmic Rays Help Us See Inside Pyramids and Volcanoes** Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı - **UAEA** (International Atomic Energy Agency - **IAEA**) Yayını, 14 Nisan 2023.

Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler

www.fmo.org.tr/_yayinlar/faydali-bilgiler