

UYDULARIMIZ TEHDİT ALTINDA

Buğra Kocaman [*Uzman Araştırmacı - TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü*

Bir uyduyu uzaya gönderip güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak, uzay ortamının zorlayıcı koşulları sebebiyle pek de kolay değildir.

Uzayda havanın bulunmaması (vakum ortamı), sıcaklıkların çok yüksek veya çok düşük olması ve diğer etkenler uydular için ciddi tehditlerdir. Diyelim ki, uydumuzu tasarladık, ürettik, istenilen şekilde çalıştığını yeryüzünde test ettik ve yörüngeye başarılı bir şekilde yerleştirdik.

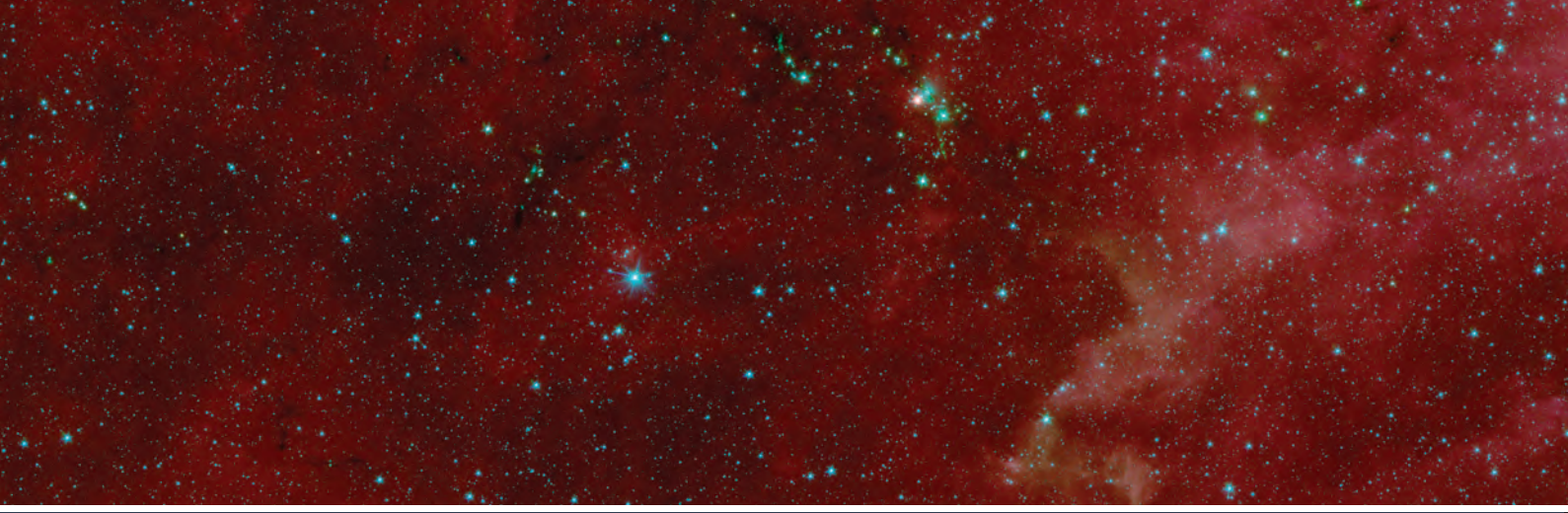
UZAY RADYASYONU!



Buraya kadar her şey tamam!
Radyasyon sebebiyle uydumuzun elektronik devreleri ve optik malzemeleri bozulursa, istenilen şekilde haberleşme ve görüntü çekme işlemleri yapılamazsa ne yapacağız?

İşte böyle bir durumla karşı karşıya kalmamak için uzayda bulunan radyasyon ve etkilerine dikkat etmemiz gerekir.

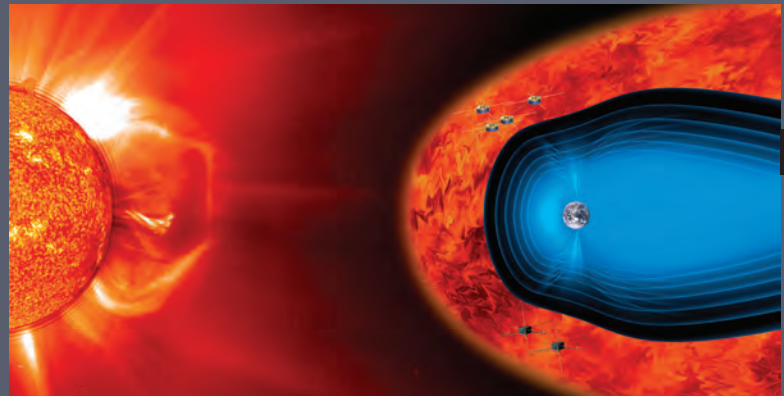
Peki,
nedir bu “uzay radyasyonu”?



Radyasyon, enerjinin dalga ve/veya yüksek hızlı parçacıklar (proton, elektron, nötron gibi) yoluyla taşınması olarak tanımlanır. Yandaki şekil elektromanyetik dalgaların frekans dağılımını gösteriyor. Dalganın frekansı enerji seviyesini gösterir. Radyo dalgalarından başlayıp gama ışınlarına kadar uzanan farklı frekanslara (enerjilere) sahip elektromanyetik dalgaları gündelik hayatımızda -belki de fark etmeden- sıklıkla kullanıyoruz. Mesela, radyo dinlerken radyo dalgalarından, yemek ısıtırken veya cep telefonları ile konuşurken mikrodalgalardan faydalaniyoruz. Frekans bandının gökkuşağı renklerinden oluşan kısmı ise (yandaki görselde kıızıdan başlayıp mora kadar olan bölge) gündelik hayatta gözümüzün algılayabildiği “görünür ışık” bölgesini gösterir. Gördüğümüz her rengin frekans aralığı bu bölgede bulunur ve bu frekans aralığının dışındaki kısımları insan gözü algılayamaz. Ancak gelişen teknoloji sayesinde artık bu da kısmen mümkün. Örneğin, kızılötesi dedektörlerini kullanarak gece görebiliriz, X ışınlarını kullanarak da vücudumuzun kemik yapısını görebiliriz.

Radyasyon, “iyonize eden” ve “iyonize etmeyen” radyasyon olmak üzere iki ana başlık altında incelenir. İyonize eden radyasyon, elektronları yörüngelerinden koparabilecek enerjiye sahiptir. Uzak morötesi, X ve gama ışınlarının yanı sıra yüksek enerjili parçacıklar da (proton, nötron, elektron, alfa parçacıkları gibi) iyonize eden radyasyon grubuna girer. İyonize etmeyen radyasyon ise, elektronları atom içerisindeki yörüngelerinden hareket ettirebilecek enerjiye sahip olmayan radyasyon çeşididir. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi, görünür ışık ve yakın morötesi dalgaları bu radyasyon grubuna girer.

İyonize eden radyasyon, hem elektromanyetik dalga hem de yüksek enerjili parçacıklar şeklinde uzay ortamında yoğun olarak bulunduğu için, her türlü uzay görevinde bu radyasyonun takibinin yapılması oldukça önemlidir.





Elektromanyetik (EM) Spektrum (Elektromanyetik dalgaların frekans dağılımı)

Atmosferimizden geçer mi?



Radyasyon Dalgaboyu



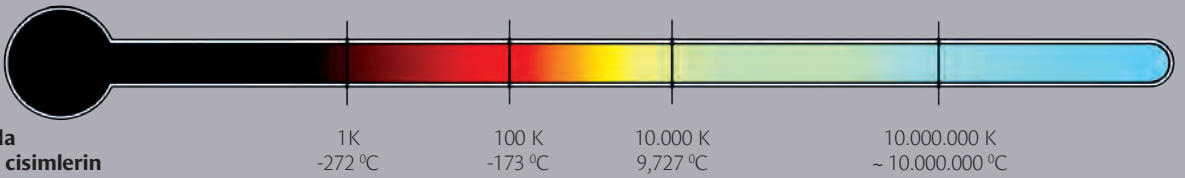
Dalgaboyunun yaklaşık ölçeği



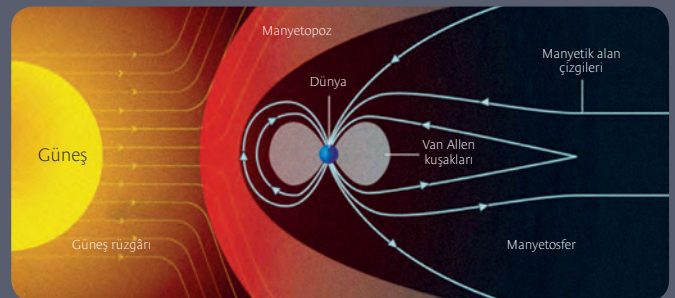
Frekans (Hz)



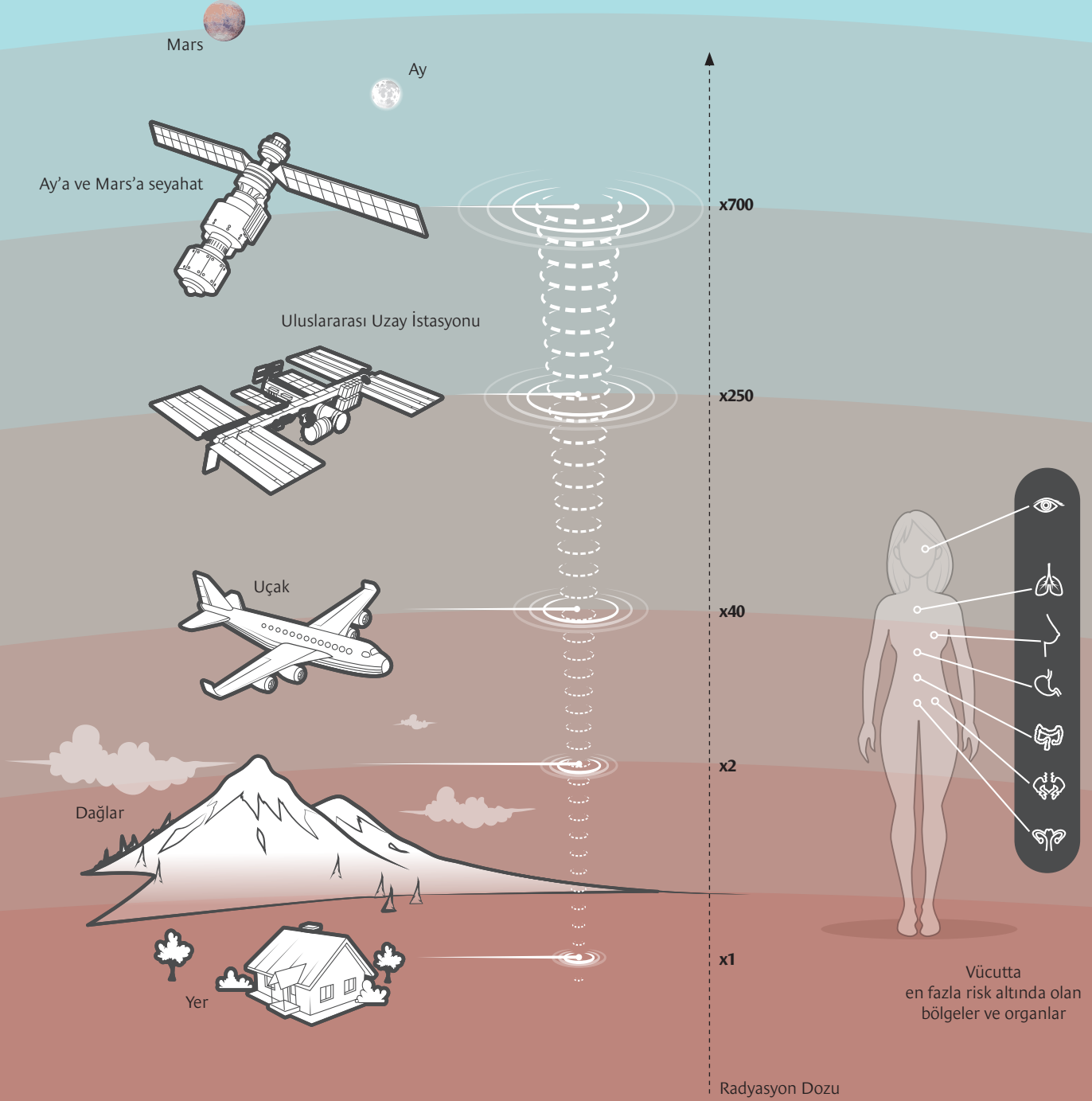
Bu dalga boyunda radyasyon yayan cisimlerin sıcaklığı



Güneş rüzgârının Dünya'nın manyetik alanına etkisi



**Dünya'nın atmosferi ve jeomanyetik alanı
bizi uzay radyasyonundan korur.**





Uzay Radyasyonu

Uzay ortamında bulunan her türlü donanım yoğun bir radyasyona maruz kalır. Bu radyasyon kaynakları başta Güneş atmosferinde ortaya çıkan manyetik aktivite kaynaklı hareketlilikler (parlamalar, patlamalar, püskürmeler) ve yıldız patlamaları sonucu yıldızlararası ortamdan bize ulaşan radyasyondur.

Bu iyonize eden radyasyon kaynakları üç başlıkta incelenir:

1. Hapsolmuş Radyasyon (Trapped Radiation)
2. Güneş Kaynaklı Enerjik Parçacıklar (Solar Energetic Particles (SEP))
3. Galaktik Kozmik Radyasyon (Galactic Cosmic Radiation (GCR))



**Uzayda 1 günde maruz kalınan radyasyon,
Dünya'da yaklaşık 1 yılda alınan radyasyon miktarına
eş değerdir.**



Hapsolmuş Radyasyon

Dünya'nın eriyik halde bulunan demir çekirdeğinin hareketleri çekirdek içerisinde elektrik akımını, bu elektrik akımı da Dünya'nın manyetik alanını (manyetosferi) oluşturur. Güneş'in gösterdiği manyetik etkinliğin şiddetine bağlı olarak, Dünyamız sürekli Güneş rüzgârına (solar wind) maruz kalır. Bu rüzgâr Dünya'nın manyetik alanını devamlı olarak sıkıştırır ve sınırlar. Diğer yandan, manyetosfer de Güneş'ten gelen radyasyonu savuşturarak Dünya'yı radyasyon bombardımanından büyük oranda korur.

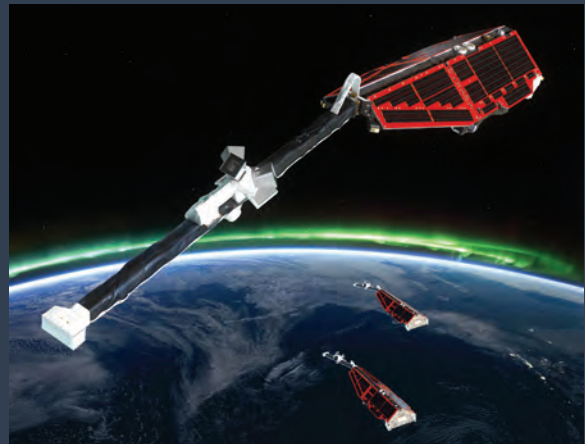
Güneş rüzgârının büyük kısmı yüksek enerjili protonlar ve elektronlardan oluşur. Dünya üzerine gelen yüksek enerjili parçacıkların hepsi manyetik alan tarafından savuşturulamaz. Dolayısıyla, bu parçacıkların bir kısmı Dünya'nın manyetik alanı içine hapsolür. Hapsolan parçacıklar Dünya'yı çevreleyen radyasyon kuşakları içerisinde bulunur. Van Allen Radyasyon Kuşakları da denilen bu bölgeler, iç içe geçmiş yüzük (toroidal) şeklindedir.

Dünya'ya yakın olan (içteki) kuşakta çoğunlukla protonlar, dıştaki kuşakta ise çoğunlukla elektronlar bulunur. İçteki kuşağın sınırları yaklaşık olarak 1.500 - 13.000 km aralığındayken, dıştaki kuşak 19.000 - 40.000 km aralığındadır.

2012 yılında, bu iki kuşak arasında üçüncü (geçici) kuşak olarak da adlandırılan yeni bir kuşak keşfedildi. Güneş'te meydana gelen Güneş patlamaları ve taçküre kütle atımı gibi hareketlilikler sonucu oluşan bu kuşak, yaklaşık bir ay kadar geçici bir süreliğine oluştu. Bu geçici kuşağın sınırları yaklaşık 19.000 - 22.000 km arasında olup çoğunlukla elektronları içerir.

Hapsolmuş radyasyon, elektronik donanımları ve canlı sağlığını ciddi oranda tehdit eder. Bu radyasyonun yıkıcı etkileri, uzay araçlarının hangi yörüngede olduğuna, Güneş hareketliliklerine ve manyetosferik koşullara bağlı olarak sürekli değişir.

Güneş'in manyetik etkinliğine bağlı olarak, Dünyamız sürekli Güneş rüzgârına (solar wind) maruz kalır. Bu rüzgâr Dünya'nın manyetik alanını devamlı olarak sıkıştırır ve sınırlar.



Van Allen Radyasyon Kuşakları

Dış Kuşak: Bu kuşakta, çoğunlukla enerjileri 10-100 MeV arasında değişen elektronlar bulunur.

Navigasyon Uyduları: Navigasyon cihazlarımızın kullandığı bilgiler bu yörüngede bulunan uydular aracılığıyla sağlanır.

İç Kuşak: Bu kuşakta, enerjileri, 10 MeV'den fazla protonlar ve 1-5 MeV arasında değişen elektronlar bulunur.

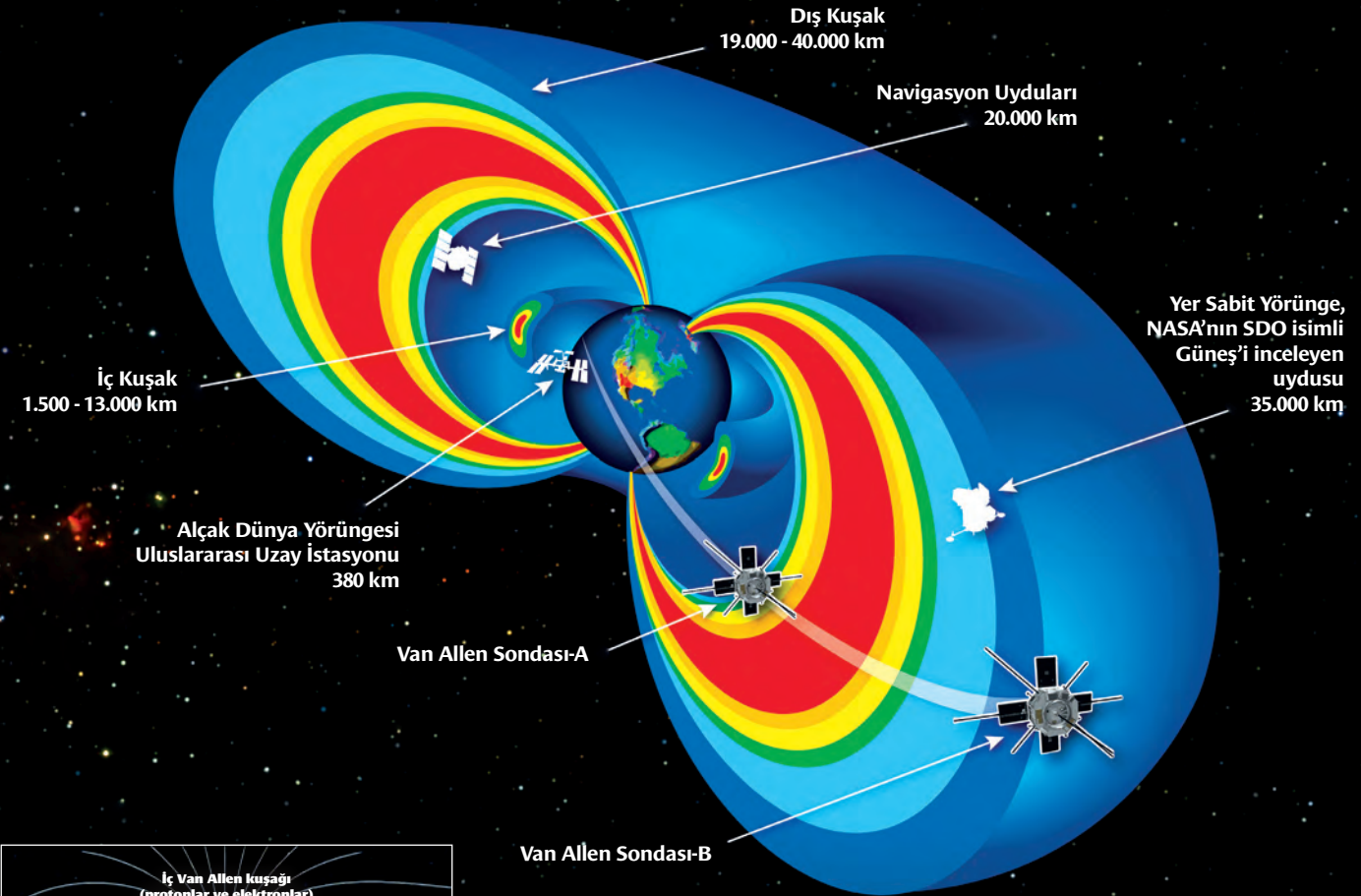
Alçak Dünya Yörüngesi: Bu yörüngede genellikle yer gözlem uyduları bulunur. Ayrıca, uzay

ortamının canlılar üzerindeki etkilerini araştırmak ve çeşitli deneyler yapmak amacıyla kurulan Uluslararası Uzay İstasyonu da bu yörünge de bulunuyor.

Van Allen Sondaları: İç ve dış kuşaklardaki radyasyonu inceleyen bu sondalar, sahip oldukları ekipmanlar sayesinde, bu kuşaklardaki radyasyonun yanı sıra bu radyasyonun elektronik ekipmanlar ve canlılar üzerindeki etkilerini de inceler. Amerikalı fizikçi James Alfred Van Allen

tarafından, çeşitli uydu ekipmanları kullanılarak keşfedilmesinden ötürü bu kuşaklara Van Allen Radyasyon Kuşakları denir.

Yer sabit Yörünge: Bu yörüngede haberleşme uyduları bulunur. Ayrıca NASA'nın Solar Dynamics Observatory (SDO) isimli, Güneş dinamiklerini inceleyen uzay aracı da bu yörüngede bulunur. Bu araç sayesinde Güneş patlamaları, taçküre kütle atımı gibi Güneş'te meydana gelen hareketlilikler incelenir.



Van Allen Radyasyon Kuşakları (3. kuşak dâhil)

Geçici üçüncü kuşak

Bu kuşak, Güneş patlamaları ve taçküre kütle atımı gibi hareketlilikler sonucu geçici süreliğine (bir ay kadar) oluşur ve çoğunlukla 2 MeV enerjiye sahip olan elektronları içerir.

<http://www.skyandtelescope.com/astronomy-news/observing-news/earth-briefly-gains-third-radiation-belt/>

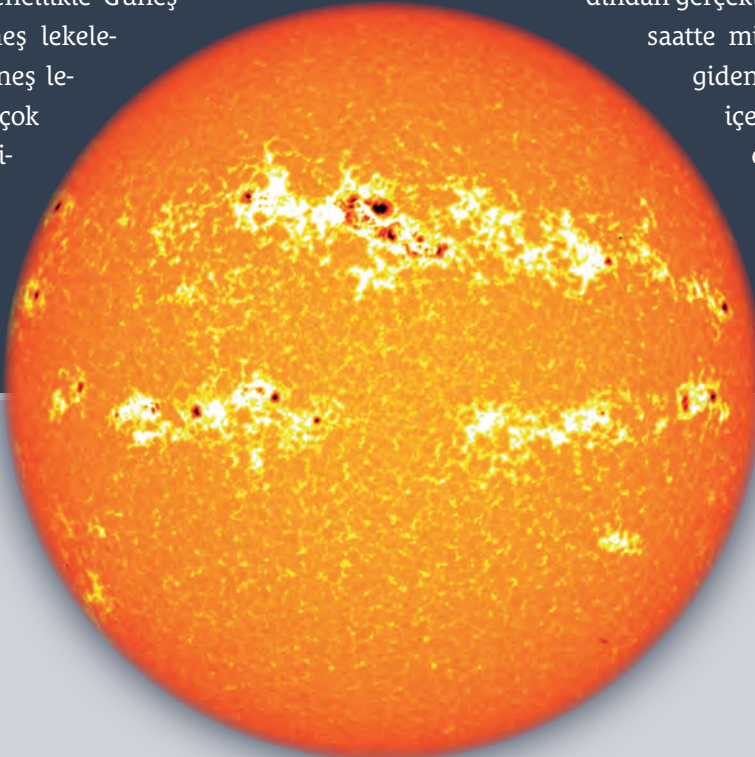
Güneş Kaynaklı Enerjik Parçacıklar (Solar Energetic Particles (SEP))

Bu parçacıklar, Güneş patlamaları (solar flare) ve taçküre kütle atımı (coronal mass ejection) gibi Güneş'te meydana gelen manyetik etkinlik kaynaklı hareketlilikler sonucu ortaya çıkar. Bu hareketlilikler sonucu, uzaya yoğun miktarda yüksek enerjili proton, elektron, alfa parçacıkları ve ağır iyonlar saçılır.

Güneş patlamaları çok yoğun bir enerjinin X ışını formunda salımı olarak da tanımlanabilir. Ortaya çıkan enerji o kadar büyüktür ki patlamalarda ortaya çıkan plazmanın sıcaklığı milyonlarca dereceye varabilir. Güneş patlamaları genellikle Güneş yüzeyinde bulunan Güneş lekelere meydana gelir. Güneş lekelerinin manyetik alanı çok yoğundur ve Güneş'in diğer kısımlarına göre çok daha yoğun manyetik alana sahip olmaları

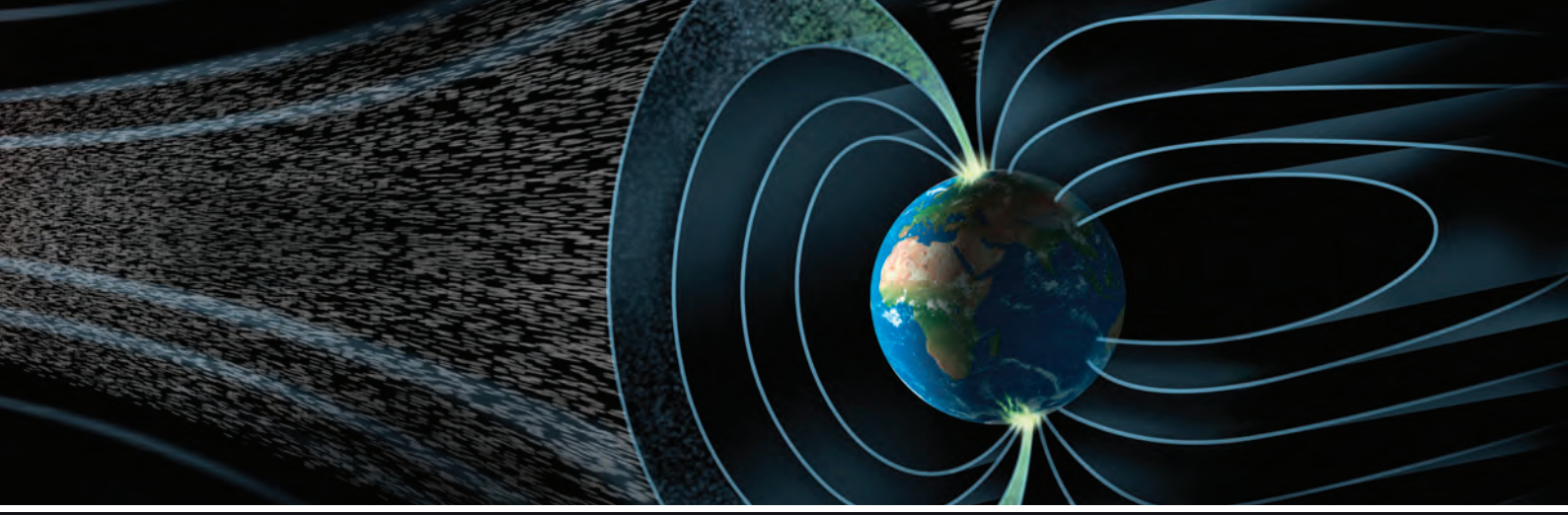
sebebiyle bu bölgelerde sıcaklık iletimi daha azdır. Çevrelerine göre daha soğuk olmaları nedeniyle de siyah lekeler şeklinde görünürler. Bu sebeple özellikle bu bölgelerin gözlemlenmesi uzay araçları için çok ciddi önem taşır.

Güneş'te meydana gelen bir diğer hareketlilik taçküre kütle atımıdır. Çok büyük miktarda, yüksek enerjili, iyonize hâldeki maddenin (plazmanın) uzaya püskürtülmesi olarak tanımlanır. Taçküre kütle atımı, genellikle yoğun biçimde meydana gelen Güneş patlamalarının ardından gerçekleşir. Büyük bir kütle atımı, saatte milyonlarca kilometre hızla giden milyarlarca ton madde içerebilir. Bu bakımdan, uzay ortamında bulunan her tür araç için taçküre kütle atımlarının takip edilmesi çok önemlidir.



Güneş lekeleri ve onları saran parlak faküla alanları

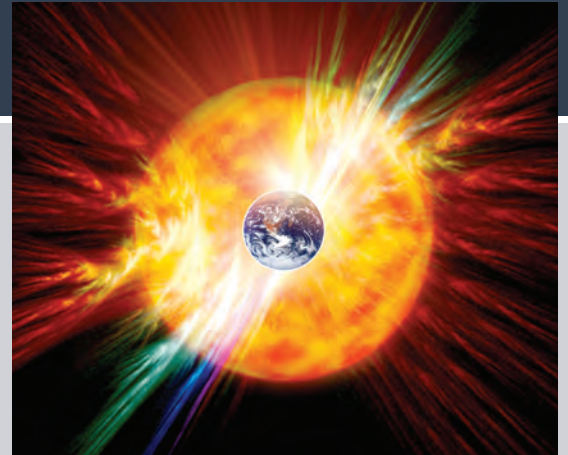
<https://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/sun-brightness.html>



Hapsolmuş radyasyon ve Güneş kaynaklı enerjik parçacıklar içerisinde yoğun olarak bulunan protonlar ve elektronlar, Toplam İyonize Doz (Total Ionizing Dose (TID)) ve Yer Değiştirme Hatası (Displacement Damage (DD)) denilen hasarlara sebep olur. Bu hasarlar elektronik ve optik bileşenlerin performans ve özelliklerinde bozulmalara hatta tamamen işlevsiz kalmalarına yol açabilir. Protonların yüksek enerjiye sahip olmaları ve uzay aracının iç kısımlarına kadar ilerleyebilmeleri, uzay araçları açısından en tehlikeli parçacıklar oldukları anlamına gelir. Düşük enerjili elektronlar ise yüzey ile etkileşip, yüzeyin yüklenmesine bağlı olarak elektrostatik deşarja (ESD) (yüzeyler arasında şimşek çakmasına) sebep olur. Bu durum elektronların daha yoğun olduğu yer sabit (geostationary) yörüngedeki uzay araçları için çok daha büyük sorunlar yaratır. Yüksek enerjili elektronlar ise uzay aracının iç kısımlarına kadar ilerleyerek, yüzeydekinin yanı sıra araç içerisinde de elektrostatik deşarja sebep olur.

Toplam İyonize Doz, kalıcı, biriken (kümülatif) ve iyonize eden bir etki olduğu için elektronik ekipmanların yarıiletken veya yalıtkan (dielektrik) kısımlarında eşik değerlerin kayması, kaçak akımların ve tüketimin artması, zamanlama değişiklikleri ve fonksiyon kayıpları gibi hasarlara yol açar. Ayrıca polimer ve cam gibi malzemelerin elektriksel, mekanik ve optik özelliklerinin değişmesine sebep olur.

Yer Değiştirme Hatası, yüksek enerjili parçacıkların sebep olduğu çift kutuplu, optoelektronik, güneş hücreleri gibi donanımlar üzerinde meydana gelen birikimli ama iyonize etmeyen bir etkidir. Nötron, proton, elektron ve ağır iyonlar gibi parçacıklar malzemelerin kristal yapısındaki atomların yerlerini değiştirerek kristal yapının değişmesine neden olur.



"Güneş'te meydana gelen bir diğer hareketlilik taçküre kütle atımıdır. Çok büyük miktarda, yüksek enerjili, iyonize hâldeki maddenin (plazmanın) uzaya püskürtülmesi olarak tanımlanır."

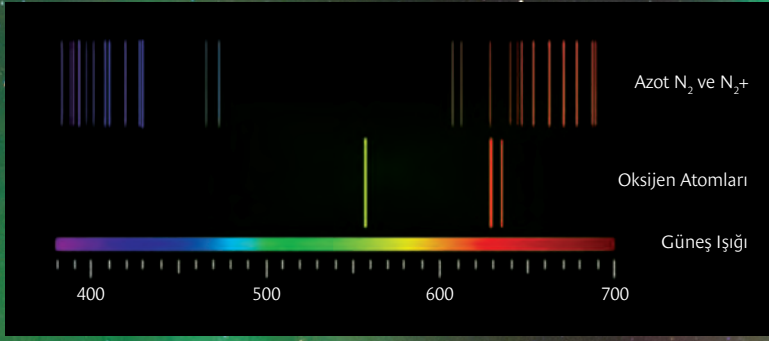
Galaktik Kozmik Radyasyon (Galactic Cosmic Radiation (GCR))

Güneş sistemimiz dışından gelen radyasyondur ve diğer iki radyasyon kaynağına ek olarak periyodik tabloda bulunan tüm elementleri içerebilir. GCR yaklaşık olarak %90 protonlardan, %9 alfa (helyum) parçacığından ve %1 daha ağır element çekirdeklerinden (ağır iyonlardan) oluşur. Süpernova patlamaları kalıntılarının, aktif çekirdeğe sahip gökadalardan, kuasarlardan ve gama ışını patlamalarının bu radyasyonun kaynağı olduğu düşünülüyor. GCR'nin hapsolmuş radyasyona göre yoğunluğu daha azdır fakat sahip olduğu yüksek iyonlaştırma potansiyelinden ötürü uzay araçları içerisine daha fazla iletme ve dolayısıyla elektronik donanımlara daha fazla zarar verme potansiyeline sahiptir.

Uzay radyasyonunun yarattığı üçüncü etki (hasar) olan Tekil Olay Etkileri (Single Event Effects (SEE)), elektronik bileşenler üzerinde yüksek enerjiye sahip tek bir parçacığın sebep olduğu kalıcı ya da geçici olabilen etkilerdir. Bu etkilere yüksek enerjili protonlar, nötronlar ve ço-

ğunlukla ağır iyonlar sebep olur. Proton ve nötronlar, aktif yarıiletkenlere sahip diyotlar, transistörler, entegre devreler, optoelektronik aygıtlar gibi bileşenler ile nükleer etkileşime yaparak yükün belirli bir alanda birikmesine yol açar. Ağır iyonlar ise bileşenin doğrudan iyonlaşmasına sebep olur. Bileşenin radyasyon etkisiyle yüksek akım çekerek tüm ekipmanın kaybına sebep olması, bu etkinin yol açtığı kalıcı hasarlara bir örnektir. Geçici etkiler ise verilerde bozulmalara veya cihazın farklı işlevsel durumlarda kalmasına sebep olur. Çoğunlukla geçici hasarlar sistemin kapatılıp açılmasıyla düzelir.

Radyasyon kaynaklarından, özellikle Güneş'ten gelen yüksek enerjili parçacıklar, Dünya atmosferi ile etkileştikten sonra proton, nötron, elektron, pion, pozitron, müon, alfa parçacıkları gibi ikincil parçacıklara bozunur. Bu parçacık radyasyonuna ikincil radyasyon denir. Yüksek hızlı parçacıklar, Dünya atmosferi ile etkileşerek enerjilerini kaybederken veya ikincil parçacıklara bo-



Azot ve Oksijen Emisyonu

Yüksek hızlı parçacıklar atmosferdeki oksijen atomları ile etkileşime girerse yeşil renkte ışıma (oksijen emisyonu), azot (nitrojen) molekülleri ile etkileşime girerlerse kırmızı renkte ışıma (nitrojen emisyonu) ortaya çıkar. Oksijen emisyonu yeryüzünden yaklaşık 100 km yükseklikte oluşurken, azot emisyonu yaklaşık 200 km'de oluşur.

<https://www.atoptics.co.uk/highsky/auror3.htm>

zunurken çeşitli renklerde ışık yayarlar. Kutup ışıkları olarak da bilinen bu görsel olaylar, ikincil radyasyona gösterilebilecek en güzel örneklerdendir. Bu olaylar eğer Kuzey Kutbu'nda oluşuyorsa kuzey ışıkları (aurora borealis), Güney Kutbu'nda oluşuyorsa da güney ışıkları (aurora australis) adını alırlar. Dünyanın manyetik alan çizgilerinin kutuplarda uzaya doğru açık olması, yüksek hızlı parçacıkların atmosferimizden içeri doğru girmesine ve bu olayların gerçekleşmesine sebep olur.

Kuzey ışıkları (aurora borealis)

Güney ışıkları (aurora australis)



Uzay ortamındaki radyasyondan tamamen korunmak pek mümkün olmasa da uyduların maruz kalacağı radyasyon seviyeleri ve bunların etkileri, çeşitli radyasyon yazılımları ile analiz edilir. Ayrıca, laboratuvar ortamında çeşitli radyasyon testleri sayesinde, elektronik devreler üzerinde olası etkilerin saptanması, önleyici tedbirlerin alınması ve telafi edici iyileştirmelerin uygulanması mümkün olur. Bu analizler ve testler sonucu, uydunun yapısal tasarımı, uydu donanımları (yedeklilikler) ve uydu yazılımları özelinde önleyici tedbirler alınır ve telafi edici iyileştirmeler yapılır.

Uydunun yapısal tasarımı görev parametrelerine göre belirlenir ve malzeme olarak genellikle alüminyum kullanılır. Alüminyumun kolay bulunması ve işlenebilmesinin yanı sıra görece ucuz bir malzeme olması uydu teknolojilerinde yıllardır kullanılmasının başlıca nedenlerinden biridir. Uydu yapısalının kalınlığı radyasyon seviyelerinin farklı olduğu yörüngelerde aynı değildir. Bunun en büyük sebeplerinden biri uydu kütlesi arttıkça maliyetlerin de artmasıdır. Mesela radyasyon seviyelerinin çok yüksek olduğu yer sabit yörüngede daha kalın uydu yapısalı kullanılırken, radyasyon seviyelerinin daha az olduğu alçak dünya yörüngesinde daha ince uydu yapısalı kullanılır. Tabii ki bu yapısal kalınlıkları belirleyen tek etmen radyasyon değildir fakat bu duvar kalınlıkları belirli bir seviyeye kadar radyasyondan korunabilmeyi sağlar. Alüminyumun kalkanlama özelliğinin yetersiz kaldığı durumlarda ise ihtiyaç hâlinde tantal, tungsten, titanyum gibi malzemeler ek kalkanlama amacıyla kullanılır.

Radyasyon sebebiyle bir ekipmanın olası kaybı durumunda görevin başarılı bir şekilde devam etmesi için ekipmanlar yedekli olarak tasarlanır. Bu tasarım yaklaşımı donanım özelinde alınan bir tedbir olarak düşünülebilir. Örneğin, bir ekipmanın işlevsiz hâle gelmesi sebebiyle tüm uyduyu kaybetmemek adına o ekipman ile aynı işleve sahip ikinci bir ekipman kullanılabilir. Tabii ki her ekipmanın yedekli olarak tasarlanması daha güvenilir uydulara sahip olmayı sağlar. Ancak, yukarıda da belirtildiği üzere, kütlenin ve dolayısıyla maliyetin artması uydu tasarımını belirleyen en önemli etmenlerdendir.

Radyasyon etkilerine karşı alınabilecek bir diğer tedbir ise çeşitli yazılım algoritmaları kullanılarak hata düzeltme işlemlerinin yapılmasıdır. Bu işlemler, hatalı kısımların veya verilerin göz önünde bulundurulmamasını, gerekirse ilgili kısmın yeniden başlatılmasıyla oluşan hataların normal duruma dönmesini sağlar.

Sonuç olarak, yeryüzünde yaşayan bizler için manyetosfer ve atmosfer sayesinde uzay radyasyonu belki de çok büyük tehlike oluşturmaz fakat başarılı uzay görevleri için uzay radyasyonuna ve etkilerine dikkat etmemiz gerekir. Uydu tasarımı, üretimi ve kullanımı gibi konularda artık çok daha tecrübeliyiz. Belki de yakın gelecekte doğal uydumuz olan Ay'a, Güneş Sistemimizde bulunan gezegenlere veya uzayın derinliklerine doğru vizyon niteliği taşıyan yeni görevler gündemimize gelecek. İşte bu görevlerin başarıyla veya başarısızlıkla sonuçlanmasını belirleyecek en önemli faktörlerden biri kuşkusuz ki uzay radyasyonundan korunmak için geliştirilen teknikler olacak. ■

Kaynaklar

- <http://scienceworld.wolfram.com/physics/Radiation.html>
- <http://www.thefreedictionary.com/radiation>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum
- https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_space_radiation_ebook_0.pdf
- <https://www.britannica.com/science/dynamo-theory>
- <http://sci.esa.int/cluster/40994-cluster-reveals-the-reformation-of-the-earth-s-bow-shock/>
- <https://www.nasa.gov/press/2014/august/nasa-probes-studying-earth-s-radiation-belts-to-celebrate-two-year-anniversary/#.VdGanPntBd>
- Baker, D. N. ve ark., "A Long-Lived Relativistic Electron Storage Ring Embedded in Earth's Outer Van Allen Belt", *Science*, Cilt 340, Sayı 6129, s. 186-190, 12 Nisan 2013.
- https://radhome.gsfc.nasa.gov/radhome/Nat_Space_Rad_Haz.htm
- McGuire, R. E. ve ark. "The Energy Spectra of Solar Energetic Particles", *Advances in Space Research*, Cilt 4, Sayı 2-3, s.117-125, 1984.
- https://sohowww.nascom.nasa.gov/explore/lessons/sunspots6_8.html
- https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/index.html
- https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/cosmic_rays1.html
- <https://www.universetoday.com/86490/astronomy-without-a-telescope-oh-my-god-particles/>
- <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20150003480.pdf>
- ESA-ESTEC, ECSS Secretariat, Requirements & Standards Division. "Space Engineering Methods for the calculation of radiation received and its effects, and a policy for design margins", *ECSS-E-ST-10-12C*, Noordwijk, Hollanda, 15 Kasım 2008.
- ESA-ESTEC, ECSS Secretariat, Requirements & Standards Division. "Space engineering, Calculation of radiation and its effects and margin policy handbook", *ECSS-E-HB-10-12A*, Noordwijk, Hollanda, 17 Aralık 2010.