








Taşınabilir Kozmik Müon Dedektörü ve İlk Gözlem Sonuçları

Meryem Kübra Dağ¹ *, Tolga Güver^{2,3} , Suat Özkorucuklu⁴ ,
Güray Gürkan⁴ , Z.Funda Bostancı^{2,3} , Ahmet Polatoğlu⁵ ,
Cahit Yeşilyaprak⁵ 

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Beyazıt, 34119, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi, Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi, 34119, İstanbul

³ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul

⁴ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul

⁵ Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Erzurum, 25000, Turkey

Accepted: December 20, 2022. Revised: December 15, 2022. Received: November 13, 2022.

Özet

Kozmik ışınlar, 10^9 eV'dan 10^{21} eV'a ulaşan enerji aralığına sahip temel yüklü parçacıklardan ve çekirdeklerden oluşur. Bazıları Güneş'ten kaynaklanırken, diğerleri yıldızlararası uzayda süpernova patlamaları ve diğer yüksek enerjili olaylar sonucunda bize ulaşır. Bu parçacıklar Dünya'nın üst atmosferiyle etkileşime geçerek ikincil parçacıklara bozunurlar. Burada odaklandığımız ikincil parçacık olan müon, ortalama ömrü 2,5 mikrosaniye kadar kısa olmasına rağmen ışık hızına yakın hızlarda hareket etmesi sebebiyle görelilik etkilerine maruz kalırlar. Görelilik sınırları içerisinde giren müon parçacığının ortalama ömrü, yer tabanlı gözlemcilerin referansından dakika mertebesine çıkar ve böylece tespit edilebilir.

Dedektörlerle tespit edilen müon akısının zamana bağlı değişiminde Güneş'in rolü son derece önemlidir. Kozmik ışın akısı ile güneş aktivitesi arasında bir ilişki olup olmadığına dair birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar zaman bağlamında ikiye ayrılabilir; Uzun vadeli değişiklikler olarak Güneş'in 11 yıllık aktivite döngüsü boyunca Kozmik Işın akısının takibi ve kısa vadeli (gün, saat mertebesinde) Kozmik Işın akısının ani düşüşünü gözlemleyerek güneş aktivitesi ile korelasyonunun takibi (Forbush Azalması).

Müon akısının zamanla değişiminin takibi için bu çalışmada sunulan bir kozmik ışın dedektörü kurulup çalıştırılmıştır. Dedektör MIT üniversitesinden S.Axani ve arkadaşları tarafından kurulan CosmicWatch Taşınabilir Kozmik Müon Dedektörü esas alınarak kurulmuştur (Axani ve diğ. 2018). CosmicWatch dedektörü, müon dedektasyonu alanına minyatürize edilmiş bir giriş niteliği taşımaktadır. Yapımının kolay ve anlaşılır olması, arka planındaki fiziğin anlaşılır olması, esas alınması açısından önemli bir faktördür. Bu çalışmada kurduğumuz dedektörün temel düzeneği ve alınan ilk 41 saatlik veri paylaşılacaktır.

Abstract

Cosmic rays consist of fundamental charged particles and nuclei with a wide energy range. Some come from the Sun, while others reach us as a result of supernova explosions and other very high-energy events in interstellar space. When these particles come to Earth's upper atmosphere, they collide and decay into secondary particles. Muons, which are the secondary particles we focus on here, are subject to relativistic effects thanks to their speed close to the speed of light, although their lifetimes are as short as 2.5 microseconds, and they can be easily detected by ground-based detectors.

The role of the Sun as the closest influence on the muon flux is extremely important. There are many studies on whether there is a correlation between the cosmic ray flux and solar activity. These studies can be divided into two in the context of time; As long-term changes, examining the correlation with the Solar activity by measuring the Cosmic Ray flux during the 11-year activity cycle of the Sun and observing the short-term (day, hour) Cosmic Ray flux's day-based sudden decrease (Forbush Decrease) with coronal mass ejection events reaching the Earth. The established detector is based on the CosmicWatch Portable Cosmic Muon Detector established by S.Axani from MIT University and his colleagues (Axani ve diğ. 2018). The CosmicWatch detector is a miniaturized entry into the field of Muon detection. It is an important factor in terms of being easy and understandable to make and the physics of the background being comprehensible. In this study, the basic setup of the detector and the first 41 hours of data will be shared.

Anahtar Kelimeler: Cosmic Rays – Muons – Solar activity

1 Giriş

Kozmik ışınlar, ışık hızına yakın hızlarda hareket eden ve enerjileri 10^{21} eV'lara ulaşan yüksek enerjili yüklü parçacıklardır

(Gaisser ve diğ. 2016). Bir kısmı birincil kaynak olarak Güneş'ten gelse de, büyük bir kısmı yıldızlararası uzaydaki süpernova patlamaları gibi diğer yüksek enerjili olaylar sonucu bize ulaşırlar (Gaisser ve diğ. 2016). Kozmik ışınlar, Galaktik veya Ekstra Galaktik uzaklıklardan Dünya'ya ulaşabilirler. Ancak bu parçacıkların doğrultusu tam olarak belirlenemez.

* meryemxan2@gmail.com

Yüklü olmaları sebebiyle uzaydaki yolculukları sırasında manyetik etkilere maruz kalarak doğrultularından saparlar ve bu olay kaynaklarına yönelik kesinliği ortadan kaldırır.

Kozmik ışınların %90'ı atom çekirdeklerinden, %1'lik bir kısmı ise serbest elektronlardan oluşur. Bu birincil parçacıkların atmosferle etkileşimleri sonucunda bir parçacık yağmuru meydana gelir. Kilometre kare başına 10^{10} parçacık düşecek kadar yoğun olan bu nükleonik yağmur, oldukça geniş bir alana üniform biçimde yayılır (Gaisser ve diğ. 2016).

Oluşan parçacık yağmurunun son basamaklarında oluşan ikincil temel parçacık müon, kozmik ışın akı oranının belirlenmesi açısından esas aldığımız parçacıktır. Müonlar, temelde elektronla aynı özelliklere sahip ancak elektrondan 200 kat daha kütleli kararsız parçacıklardır (Axani ve diğ. 2018). Ortalama ömrü 2.5 μ s olması rağmen, ışık hızına yakın hızda hareket etmesi sebebiyle rölativistik etkilere maruz kalır. Böylece zamanda görelilik etkisiyle müonlar yer yüzeyine bozunmadan inebilirler (Gaisser ve diğ. 2016) ve yer tabanlı dedektörler aracılığıyla tespit edilebilirler.

Kozmik ışınların kaynağına ilişkin aklımıza ilk gelen cisim pek çok astronomik olayda olduğu gibi yine güneştir ve dolayısıyla güneş aktivitesi ve müon akı oranı ilişkisi birçok çalışmada ele alınmıştır (bkz. ör. Forbush 1946; Angelov ve diğ. 2009; Colalillo 2018; Papaioannou ve diğ. 2013; Schwenn 2006; Maghrabi ve diğ. 2021). Bu çalışmalar genelde ani ve kısa zaman ölçekli korelasyonlar, (Forbush Azalması, Forbush 1946) ve uzun zaman ölçekli korelasyonlar (Güneş Çevrimine bağlı) olarak iki kategoride incelenmektedir (bkz. ör., Maghrabi ve diğ. 2021).

1.1 Forbush Azalması

Forbush Azalması Galaktik kozmik ışınların akısında ani düşüşler olarak tanımlanır. Forbush (Forbush 1946) tarafından 1937 yılında keşfedilmiş ve jeomanyetik fırtınalardan kaynaklandığı öne sürülmüştür. Dünya manyetosferi, gezegenler arası koronal kütle atımları (Forbush 1946) ve bunlara eşlik eden şoklar gibi Güneş aktivitesinden kaynaklı etkilerin sonucunda önemli değişimler yaşar. Dünya'ya varan koronal kütle atımları manyetik alan etkisini artırır, böylece galaktik ölçekteki kozmik ışın yoğunluğunun önemli ölçüde azalmasına neden olur (Forbush 1946).

1.2 Güneş Çevrimi ve Kozmik Işınlara Korelasyonu

Güneş aktivite çevrimi yaklaşık olarak 11 yıl sürmektedir Schwabe (1844). 11 yıllık süreçte müon akı oranını durmaksızın takip eden bazı çalışmalar Maghrabi ve diğ. (2021) göstermektedir ki güneş aktivitesinin arttığı maksimum dönemde müon akı oranında düşme, güneş aktivitesinin azaldığı minimum dönemde müon akı oranında artma söz konusudur. Bu açıkça bir anti korelasyona işaret etmektedir Maghrabi ve diğ. (2021). Bu korelasyonun gözlenebilmesi için dedektörlerin 11 yıllık çevrimde verimli bir şekilde duyarlılığının bozulmadan çalıştırılması gerekliliğinden, uzun dönemli akı oranı tespiti daha zordur.

Bu çalışmada CosmicWatch Axani ve diğ. (2018) dizaynı baz alınarak yapılmış bir müon dedektörü tanıtılmış, ilk gözlemi hakkında bilgiler verilmiş ve geleceğe dair planlarımız açıklanmıştır.

2 Yöntem

Bu bölümde kozmik ışın tespiti için kullanılan temel dedektör düzenekleri (Axani ve diğ. 2018; Ayuso ve diğ. 2021) ve bu makale kapsamında kurulmuş olan taşınabilir kozmik müon dedektörü düzeneği üzerinde durulacaktır.

2.1 Müon Tespiti

Yer tabanlı dedektörler ile kozmik ışın akısına dair sonuç elde etmek için müon akı oranı bilgisinden faydalanılır (Schwenn 2006). Müonlar daha önce de belirtildiği gibi elektronla aynı yüke sahip ama elektrondan yüzlerce kat daha kütleli parçacıklardır (Gaisser ve diğ. 2016). Müon gibi yüklü parçacıklar sintilatör üzerine çarptığında enerjinin bir kısmı emilir ve sonra tekrar foton olarak yayılır. Oluşan optik/morötesi fotonlar bize müon akı ve enerjisini ölçme şansı verir.

Sintilatörden yayılan ışığın anlamlı bir veriye dönüşmesi için elektronik bir sinyale ihtiyaç vardır. Bu sinyal silikon fotoçoğaltıcılar (SiPM) veya foto katlandırıcı tüpler aracılığıyla sağlanır (PMT) (Ayuso ve diğ. 2021). Bu bileşenler ışığı toplayarak anlamlı bir sinyale dönüştürür ve bu sinyali sistemde bulunan okuma (Readout) devresine göndererek veriye dönüşmesine izin verir.

Tespit sistemlerinin önemli bir diğer kısmı da Elektronik Okuma Entegre devreleridir. Dedektörün modellenmesine bağlı olarak bu devrelerin işlem kapasiteleri birbirinden farklı olabilir ama temelde hepsi üretilen darbenin genliğini hesaplayarak çiktıdaki mekanizmaya veri üretme şansı sunar.

3 CosmicWatch

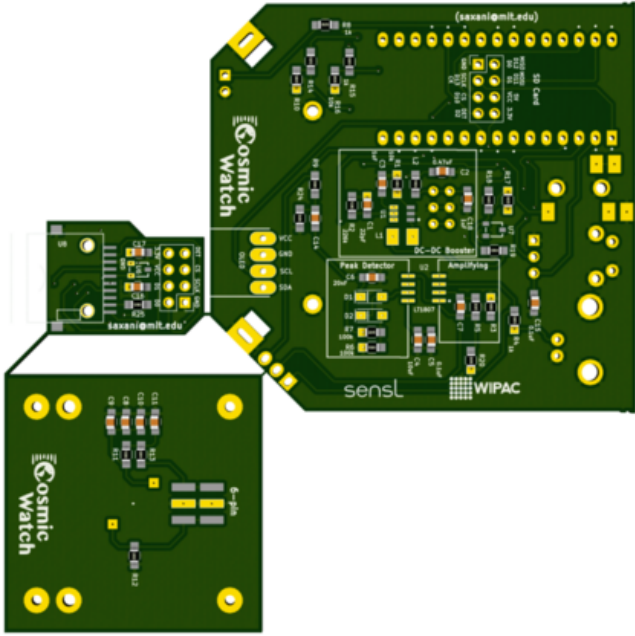
Kendi ölçümlerimizde esas aldığımız tasarım, ilk defa MIT'den Spencer Axani tarafından geliştirilmiş CosmicWatch (Axani ve diğ. 2018) müon dedektörüdür. CosmicWatch Müon Dedektörü oldukça kompakt yapıda ve düşük maliyetli bir müon dedektörüdür (Axani ve diğ. 2018). Diğer müon dedektörü çalışmalarının aksine kullanılan sintilatörün yüzey alanı sebebiyle sadece çok yüksek enerjili müonları tespit ederek düşük enerjili olanları kaçırabilir ve daha minimal veriler sunar. Bu sebeple büyük çaplı müon dedektörlerinin minyatürize edilmiş bir hali olarak düşünülebilir (Şekil 1) ve daha küçük çaplı projeler için kolaylıkla kurulabilir.

CosmicWatch SiPM BDK (Baskı Devre Kartı) (Şekil 1) üzerinde $5 \times 5 \times 1$ cm boyutlarında bir sintilatör ve buna bağlı 6×6 mm² boyutlarında bir SensL Silikon fotokatlandırıcı kullanılmaktadır. Dedektör temelde iki kısma ayrılır; Optik düzenek ve elektronik düzenek.

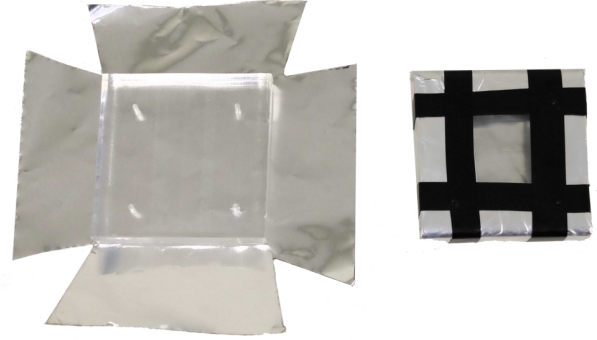
3.1 Optik Düzenek

Optik düzeneğin çalışma esası daha önce ifade edildiği gibi, yüklü parçacığın sintilatör (Şekil 3) üzerine düşerek sintilasyon yaratması ve yayılan morötesi/optik fotonun SiPM üzerinde fotoelektrik etkiyle elektron üreterek anlamlı bir sinyale dönüşmesine dayanır. Burada sintilatör dedektör üzerinde kullanımı sırasında reflektif bir kaplamayla kaplanır, arkaplan sinyali üretecek etkenlerden korumak için de siyah bir ek kaplama kullanılır. Bu çalışma bazında kurulmuş olan dedektörde (Şekil 2) kullanılan sintilatörde de aynı yöntem izlenmiştir (Şekil 3).

İkinci önemli optik bileşen ise -CosmicWatch dedektörü bazında- Silikon Fotoçoğaltıcı (SiPM)'dir (Şekil 4). Daha büyük çaplı projelerde Fotokatlandırıcı Tüpler (PMT) daha



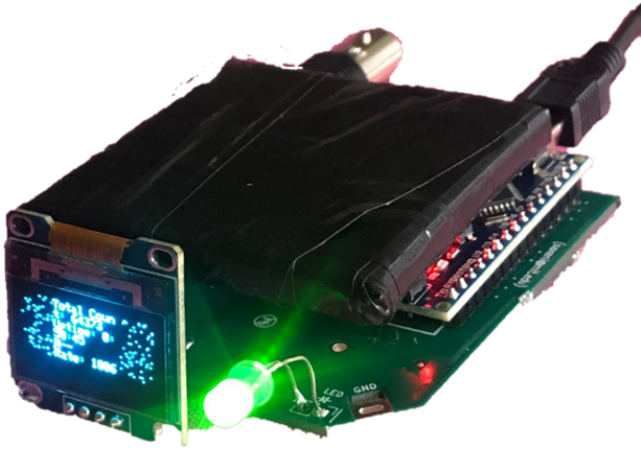
Şekil 1. MIT CosmicWatch devresine ait BDK önyüz tasarımı.



Şekil 3. 5×5×1 cm plastik sintilatör levhası.



Şekil 4. ASD SiPM 3×3 mm.



Şekil 2. Bu çalışmada yapılmış olan dedektörün fotoğrafı.

fazla tercih edilse de (Ayuso ve diğ. 2021), müon tespitinde SiPM'ler de çok önemli yer tutmaktadır. SiPM'lerin en büyük avantajı bir PMT'den onlarca kat daha düşük besleme voltajıyla çalışabilmesidir. Çalışma prensibi fotoelektrik etkiye dayanır, topladığı fotonla orantılı olarak elektron ve dolayısıyla elektrik sinyali yaratır.

Burada orijinal MIT tasarımından farklı olarak kullandığımız 2 önemli komponent bulunmaktadır. SensL SiPM (6×6 mm²) ve LT1807 Transimpedance Amplifier amaçlı kullanılmış Opamp yerine, Advansid Single SiPM (3×3 mm²) (Şekil 4) ve AD8602 opamp kullanılmıştır. Bu değişiklik mevcut bulunabilecek komponentlerle tasarlanmak istendiği için yapılmıştır.

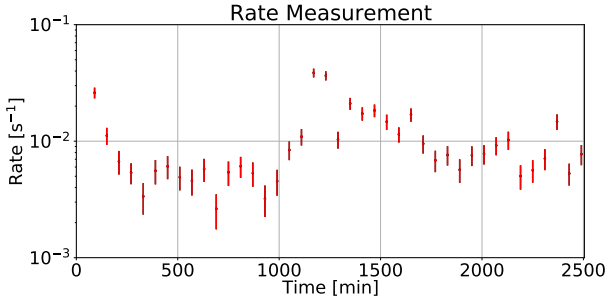
3.2 Elektronik Düzenek

Elektronik düzenekte, dedektörün kompakt yapısına ve düşük maliyetine oldukça iyi uyum sağlayan Arduino Nano kullanılmıştır. Arduino Nano ATmega328, basit ve açık kaynaklı bir mikrodenetleyici karttır. SiPM sinyali, Arduino Nano'nun sinyalin zamanını ve genliğini ölçebileceği şekilde özel olarak tasarlanmış bir baskılı devre kartı (BDK) (Şekil 1) aracılığıyla gönderilir. Arduino Nano darbe genliğini, sayım sayısını, olayın zamanını ve dedektörün ölü zamanını kaydeder. SiPM'den veri alımını tetikleyecek sinyalin eşik değeri de Arduino yazılımında ayarlanabilir.

4 Bulgular ve Sonuç

Bu çalışma kapsamında CosmicWatch dizaynı (Axani ve diğ. 2018) kullanılarak yeni bir müon dedektörü yapılmış ve bu dedektörden alınan ilk veriler sunulmuştur. Dedektör İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Laboratuvarı bünyesinde kurulmuş ve bu konumdan veri alınmıştır (41:00:49 Kuzey, 28:56:58 Doğu). Dedektörün bulunduğu konumun yüksekliği de, kozmik ışınların yüksekliğe bağlı akısının değiştiği bilindiğinden (Hess 1929) akıyı yorumlamak için ayrıca önemli bir parametredir. Kurulan dedektör 65 metrede çalışmıştır ve gelecekte yüksekliğe bağlı durumu incelemek için bu yükseklik ile kıyaslanabilecek lokasyonlara dedektör konulması ve veri alınması planlanmaktadır.

Çalışmamız sonunda elde ettiğimiz ilk dedektörün fotoğrafı Şekil 2'de verilmiştir. Kurduğumuz dedektörden alınan yaklaşık 2 günlük ölçüm Şekil 5'te gösterilmiştir (41 saat). İlk ölçümlerimiz, dedektörümüzün büyüklüğü ile orantılı stabil



Şekil 5. Dedektörümüzce gözlenen müon akısının zamanla değişimi.

bir şekilde kozmik ışın akısı gözleyebildiğimizi göstermektedir. Veriler bir saatlik ortalamalar alınarak sunulmuştur. Ancak elbette bu verilere dayanarak uzun vadeli yorumlar yapmak mümkün değildir. Önümüzdeki 3 yıllık süreçte Güneş'in 11 yıllık çevriminin maksimumuna ulaşacağını biliyoruz. Taşınabilir Kozmik Müon dedektörü ile ileriye dönük planımız, çok sayıda dedektörle sürekli olarak kozmik ışın takibi yapmak olacaktır. Daha önce ifade edildiği gibi bu dedektörlerin farklı yükseklikteki lokasyonlarda çalıştırılması da geleceğe yönelik planlarımızdan biridir.

Ancak her ne kadar kurulan bu dedektörle yüksekliğe bağlı akının ölçümü mümkün olsa da Güneş'in etkilerinin ve müon akısıyla korelasyonunun doğrudan bu çapta ekipmanlar ile gözlenebilmesi çok zordur. Bu sebeple gelecekte, daha büyük çapta müon dedektasyonu verisi sağlayabilecek bir sistem üzerinde de ayrıca çalışmalara başlanmıştır.

5 Gelecek

Daha önce ifade edildiği gibi, Güneş aktivitesinin kozmik ışın akısı üzerindeki etkilerini gözleyebilmek için donanımsal açıdan daha büyük boyutlarda bir dedektöre ihtiyaç vardır. Taşınabilir Müon Dedektörü projesinden sonraki motivasyonla, önümüzdeki 3 yıllık süreçte Güneş aktivitesinin Kozmik ışın akısıyla korelasyonuna yönelik daha büyük bir proje planlanmaktadır. Hedefimiz Ayuso ve diğ. (2021) tarafından gerçekleştirilen MITO projesiyle aynı büyüklükte ve kapsamda bir müon dedektörünün ekibimizce üretilmesi ve Doğu Anadolu Gözlemevi sitesine yerleştirilmesidir. Bu bağlamda Dr. Ayuso ve ekibi ile işbirliği yapılmış ve projeye yönelik finansal destek için de özel bir şirket olan Assemcorp Elektronik A.Ş. ile görüşme sağlanmıştır. Proje giderlerinin karşılanması şirket tarafından olumlu karşılanmış ve projeye yönelik ilk siparişler verilmiştir.

5.1 MITO (Muon Impact Tracer and Observer) Nedir?

MITO, düşük enerjili zemin gürültüsünün filtrelenmesini sağlayan bir kurşun tabaka ile iki sintilatörden (1 m^2) oluşan bir Müon dedektörüdür. Sekiz fotoçoğaltıcı tüp (PMT), sintilatörlerin dört yan tarafından çıkan ışığı toplar. MITO, yalnızca kozmik ışın akısını elde etmek için değil, aynı zamanda çoklu PMT atım verilerinin yakalanması ve analizi yoluyla müon varış yönünü kaydetmek için de tasarlanmıştır. Makul performans-maliyet oranı MITO'yu uygulanabilir kılmaktadır Ayuso ve diğ. (2021).

Teşekkür

Bu çalışma kısmen 2016K121370 numaralı proje ile T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Angelov I., Malamova E., Stamenov J., 2009, *Advances in Space Research*, 43, 504
- Axani S. N., Frankiewicz K., Conrad J. M., 2018, *Journal of Instrumentation*, 13, P03019
- Ayuso S., Blanco J. J., García Tejedor J. I., Gómez Herrero R., Vrublevskyy I., García Población Ó., Medina J., 2021, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 11, 13
- Colalillo R., 2018, in *Ultra-High Energy Cosmic Rays (UHECR2016)*. p. 011024, doi:10.7566/JPSCP.19.011024
- Forbush S. E., 1946, *Physical Review*, 70, 771
- Gaisser T. K., Engel R., Resconi E., 2016, *Cosmic Rays and Particle Physics*, 2 edn. Cambridge University Press, doi:10.1017/CBO9781139192194
- Hess V., 1929, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 55, 320
- Maghrabi A., Almutairi M., Aldosari A., Altılası M., Alshehri A., 2021, *Journal of King Saud University - Science*, 33, 101495
- Papaoiannou A., Belov A., Mavromichalaki H., Eroshenko E., Yanke V., Asvestari E., Abunin A., Abunina M., 2013, in *Journal of Physics Conference Series*. p. 012202, doi:10.1088/1742-6596/409/1/012202
- Schwabe H., 1844, *Astronomische Nachrichten*, 21, 233
- Schwenn R., 2006, *Living Reviews in Solar Physics*, 3, 2

Access:

M23-0373: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)