

Projekt Endbericht

Untersuchung des solaren Paradigmas auf kühlen Sternen

OMAA 98öu5

Im OMAA Projektantrag "Untersuchung des solaren Paradigmas auf kühlen Sternen" (Projektnummer: 98öu5) wurde die Frage gestellt: "Wie unterscheiden sich vorhergesagte und beobachtete Raten stellarer koronaler Masseauswürfe (CMEs)", oder in anderen Worten: "Inwieweit kann man solare Verteilungen von Parametern von Aktivitätsphänomenen zu jungen Sternen extrapolieren?" Um diese Fragen zu beantworten, haben wir uns in diesem Projekt auf F, G und K Hauptreihensterne beschränkt. Wir haben eine Targetliste zusammengestellt, die aus den Katalogen bzw. Studien von Hinkel et al. (2017), Güdel (2007), sowie Gaidos et al. (1998) besteht. Mit dieser Liste durchsuchten wir das HARPS-Archiv der Europäischen Südsternwarte (ESO), sowie das Polarbase-Archiv nach spektroskopischen Daten. Nachdem die Daten aufbereitet wurden, suchten wir nach Signaturen stellarer CMEs, die sich als Emissions/Absorptions-Feature auf der kurzwelligen Seite der Spektrallinie H-alpha zeigen. In Summe analysierten wir 3700 Stunden an spektroskopischen Beobachtungen von 425 F-K Hauptreihensternen. Um festzustellen, inwieweit die Sterne aktive Chromosphären besitzen, berechneten wir Pseudo-Äquivalentbreiten (EW). Es zeigte sich, dass Sterne, die im Röntgenbereich mehr Strahlung abgeben, auch aktivere Chromosphären besitzen.

Wir konnten keine Signaturen von stellaren CMEs finden, nicht einmal in den aktivsten Sternen des Samples. Da wir keine stellaren CMEs detektiert haben, war es lediglich möglich, upper limits anzugeben. Diese wurden mit vorhergesagten stellaren CME-Raten (Odert et al., in Vorbereitung) der Sterne verglichen. Die Mehrheit der Sterne des Samples zeigen upper limits, die größer als die vorhergesagten stellaren CME-Raten sind. Nur ~5% der Sterne zeigen upper limits, die kleiner als die vorhergesagten CME-Raten sind. Dies sagt aus, dass wir auf diesen Sternen CMEs detektiert haben müssten, wenn die solaren Zusammenhänge zu Sternen extrapoliert werden können. Wir merken hier an, dass die Mehrheit der Sterne eine Beobachtungsdauer von <0.5 Tage haben.

Desweiteren haben wir auch nach Strahlungsausbrüchen (Flares) gesucht, jedoch haben wir nur sehr wenige gefunden. Das ist überraschend, da die vorhergesagten Flare-Raten einige Flares pro Tag für die aktivsten Sterne des Samples vorhersagen. Die vorhergesagten Flare-Raten wurden durch den Zusammenhang aus Audard et al. (2000) berechnet. Audard et al. (2000) fanden einen Zusammenhang von Röntgenhelligkeit von Sternen und Flare-Raten, abgeleitet aus Extrem-Ultraviolett (EUV) Daten. Von der Sonne wissen wir, dass Röntgenflares in den meisten Fällen auch in H-alpha detektierbar sind (Pötzi et al., 2015). Selbst für Sterne gibt es hier einen Zusammenhang bei Flares zwischen Röntgen- und H-alpha-Strahlung (Haisch et al., 1988). Mit diesem Zusammenhang haben wir dann vorhergesagte H-alpha Flare-Raten abgeleitet. Diese haben gezeigt, daß die vorhergesagten EUV-Flare-Raten um einen Faktor ~7 größer sind als die vorhergesagten H-alpha Flare-Raten.

Wir identifizieren zwei systematische Fehler, die einen Einfluss auf die Detektion von stellaren CMEs haben. Diese sind (a) die Auswahl der Targetsterne und (b) die Daten selbst. Weiters identifizieren wir das stellare Magenfeld und die verschiedenen stellaren atmosphärischen Gegebenheiten als mögliche Gründe für eine Nicht-Detektion stellarer

CMEs.

Die Auswahl der Targetsterne beeinflusst die Detektion von stellaren CMEs in puncto Alter und Spektraltyp. Je jünger die Sterne sind, desto wahrscheinlicher ist eine Detektion von CMEs, da junge Hauptreihensterne weitaus aktiver als alte sind. Die Daten selbst haben einen Einfluss auf die Detektion von stellaren CMEs aufgrund von Beobachtungsdauer, Signal-zu-Rausch Verhältnis (S/N), sowie die Anzahl an zeitlich zusammenhängenden Spektren. Daten mit einem niederen S/N-Wert erlauben lediglich die Detektion von sehr massiven CMEs, und eine geringe Beobachtungsdauer verringert drastisch die Wahrscheinlichkeit, stellare CMEs zu detektieren.

Für die Mehrheit der Sterne des Samples haben wir keine Informationen bezüglich deren Magnetfelder. Wir wissen nicht, wie stark diese sind, bzw. welche Konfiguration diese haben. Deswegen ist es nicht möglich, zu bestätigen, dass es auf diesen Sternen Magnetfelder gibt, die den Ausbruch von CMEs verhindern könnten, wie Alvarado-Gomez et al. (2018) herausgefunden haben. Selbst wenn ein starkes darüberliegendes Magnetfeld existiert, dann beschleunigt eine CME zumindest für eine kurze Zeit und wird erst dann vom darüberliegenden Magnetfeld zurückgehalten. D.h. es sollten somit kleine, aber messbare Geschwindigkeiten zu beobachten sein.

Weiters können wir nicht sagen ab welcher atmosphärischen Höhe der Sterne ursprünglich teilweise neutrale Filamente komplett ionisiert werden. Falls diese schon kurz nach deren Eruption vollständig ionisiert werden sollten, dann müsste es auch hier möglich sein, die initiale Eruptionsphase zu beobachten. Dies wäre eine Erklärung für langsame Signaturen, aber selbst diese konnten wir nicht detektieren.

Deswegen schlussfolgern wir, dass die Nicht-Detektion stellarer CMEs mit systematischen Fehlern aus Daten und Sternauswahl, sowie einem niederen Level an Aktivität der ausgewählten Sterne zusammenhängt.

Projekt zárójelentés

"Untersuchung des solaren Paradigmas auf kühlen Sternen"

OMAA 98öu5

Az "Untersuchung des solaren Paradigmas auf kühlen Sternen" ("A szoláris paradigma jegyei hideg csillagokon") című pályázat fő kérdése az volt, hogy a Napon megfigyelt és jóslott koronaanyag-kidobódások (coronal mass ejection, CME) mennyiben térnek el más csillagokon. Azaz, lehet-e extrapolálni a Napon megfigyelt ismereteinket más, fiatal csillagokra. A kutatás során dF, dG és dK csillagokat vizsgáltunk. A célpontlistát Hinkel és mtsai. (2017) alapján állítottuk össze, akik Naphoz 30 parszeknél közelebbi dF, dG és dK csillagokat (kb. 6000-3500K felszíni hőmérséketű törpecsillagok) gyűjtötték össze. Mivel ez a minta csak 80%-ban teljes, további célpontokat adtunk a listánkhöz Güdel (2007) és Gaidos és mtsai. (1998) munkáiból. Az így nyert célpontokra a Polarbase és a HARPS távcsőarchívumokban kerestünk spektroszkópiai adatokat. Az előkészítés után extra fluxusjárulékot kerestünk a hidrogén H-alfa vonalának bal szárnyában (abszorpciós, vagy emissziós jelet), ami a Doppler-effektus miatt eltolódott, környezeténél hidegebb vagy forróbb, csillagból kidobódott anyagra utalhat. Összesen 425 dF-dK csillag több mint 3700 órányi megfigyelését elemeztük. Az adatokból lemértük a spektrumvonalak pseudo-ekvivalens szélességét (EW) - ennek segítségével a csillagok felszíne feletti kromoszféra aktivitása meghatározható. Azt találtuk, hogy a röntgen hullámhosszakon fényesebb csillagok (amelyek tehát nagyobb koronaaktivitást mutatnak) nagyobb változást mutatnak a H-alfa tartományban, amely a kromoszféra aktivitásának nyomjelzője.

A vizsgálat során a spektrumok egyikében sem, még a kromoszférikusan igen aktív csillagok esetében sem találtunk koronaanyag-kidobódásra utaló jelet (Doppler-eltolódás által okozott aszimmetriát a H-alfa vonalának szárnyában). A negatív eredményekből származó felső határokat összehasonlítottuk a várt CME mennyiségekkel (Odert és mtsai., előkészületben). Azt találtuk, hogy a csillagok többsége esetében a felső határok közel vannak a jóslott CME gyakoriságokhoz, és csak a csillagok ~5%-a esetében magasabb az események várt mennyisége a felső határoknál. Ez alapján kellett volna találnunk CME-eket ezeken a csillagokon, amennyiben a Napon megfigyelt viszonyok közvetlenül extrapolálhatók más csillagokra.

Érdeemes megjegyeznünk, hogy a csillagok többsége esetében a mérések hossza rövidebb mint fél nap. Emellett kevés ún. flert, azaz a napkitörésekkel rokon csillagkitörést találtunk az adatokban. Ez eléggé meglepő, hiszen a röntgenadatok alapján a röntgenfényes csillagok esetében Audard és mtsai. (2000) munkája alapján naponta több flert várnánk. A Napon ismert, hogy a legtöbb röntgenfler megfigyelhető a H-alfa tartományban is (Pötzi és mtsai., 2015). Más csillagokon azonban csak néhány, egyidejűleg több hullámhosszon végzett megfigyelés létezik. Haisch és mtsai. (1988) a flerek röntgen- és H-alfa mérései alapján becsült energiák között kapcsolatot találtak. Ezt az összefüggést használva megbecsültük a várható H-alfa flerek mennyiségét. Ez alapján az előrejelzett EUV (extrém-ultraibolya) flerekszám mintegy hétszer nagyobb, mint a várt H-alfa flerek száma.

Feltételezéseink szerint a CME-k észlelését a csillagokon két dolog torzíthatja: *a*) a célpontok kiválasztása és *b*) maguk az adatok. Emellett a csillagok mágneses tere és bizonyos csillaglégköri okok is állhatnak a negatív eredmények mögött. A kiválasztási effektus (*a*) eredménye lehet, hogy a kiválasztott minta csillagai esetében azok kora és spektráltípusa miatt kevesebb CME fordul elő rajtuk. Minél fiatalabbak ugyanis a csillagok, annál aktívabbak, így annál valószínűbb a CME-k észlelése is. A másik magyarázat (*b*) szerint a mérések hossza, a jel-zaj arány befolyásolja CME-k megtalálásának esélyét. Alacsony jel-zaj viszonyú adatok csak nagyon nagy CME-k észlelését teszik lehetővé, a rövid észlelési idők pedig drasztikusan csökkentik CME-k megtalálásának valószínűségét. Annak érdekében, hogy minél több észleléshez hozzáférhessünk, archív mérések alapján dolgoztunk, így az eredeti mérésekhez használt észlelési stratégiákhoz kellett igazodnunk.

A mintánk nagy részére nincsenek adataink a csillagok mágneses teréről: nem tudjuk sem azt, hogy milyen erős, sem azt, hogy milyen konfigurációjúak a terek. Alvarado-Gomez és mtsai. (2018) szerint lehetséges, hogy a mágneses mezők megakadályozzák a koronaanyag-kidobódásokat: az ún. mágneses befagyási tétel miatt ugyanis a plazma a mágneses tér mentén mozog, így előfordulhat, hogy csak a legerősebb kitörésekből lehetnek valódi CME-k. Azonban még akkor is kellene látnunk a CME-kre utaló jelet a korai felemelkedés fázisában, ha az erős mágneses tér az összes tényleges anyagkidobódást megakadályozná. Nem ismert az sem, hogy a kezdetben semleges kidobódott anyag a csillag légkörének mely magasságában ionizálódik teljesen. Ha ugyanis az ionizáció a kitörés után gyorsan megtörténik, lehetséges, hogy csak a kitörés kezdeti szakaszát látjuk. Ez megmagyarázná a lassú aszimmetriákat a vonalak kék szárnyában, de nem találtunk erre utaló meggyőző jelet sem. A születő tanulmányban arra a következtetésre jutottunk, hogy főként azért figyelünk meg a vártnál kevesebb CME-t, mert a vizsgált csillagoknak alacsonyabb az aktivitási szintje, és emellett minden bizonnyal észlelési okok is szerepet játszanak.

Budapest, 2019. 06. 11.



Dr. Kővári Zsolt

projektvezető