

HAE/BE ULDUZLARININ MAQNİTOSFER AKKRESİYA ÖLÇMƏLƏRİ

F.S. HÜSEYNOVA

*Elm və Təhsil Nazirliyi, Batabat Astrofizika Rəsədxanası
AZ 7000, Azərbaycan, Naxçıvan şəh., Heydər Əliyev pr., 35
faidahuseynova@gmail.com*

Herbig Ae/Be tip cavan ulduzların diskdən ulduza akkresiya yolu ilə kütlələrini necə qazandıqlarını başa düşmək astrofizikada böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu, ulduzların erkən təkamülü, diskin ömrü və dissipasiya prosesləri, ulduzətrafi protoplanetlərin formalaşması və ya böyük diapozonda ulduz əmələgəlmə bölgələri xarakterizə edən makroskopik parametrlərlə əlaqə haqqında biliklərimizə təsir edir. Güclü maqnit sahələri olan kiçik kütləli T Tauri ulduzları üçün maqnitofosfer akkresiyasının hərəkət mexanizmi olduğuna dair artıq sübutlar var. Lakin ətrafında zəif maqnit sahəsi olan orta kütləli HAE/BE cavan ulduzlarda maddənin ötürülməsi, ehtimal olunur ki, diskdən ulduza isti örtük qatı vasitəsilə birbaşa baş verir.

Açar sözlər: maqnit sahəsi, akkresiya, akkresiya diski, fundamental parametrlər.

UOT: 524.3

Cavan ulduzlar təkamülün ilkin mərhələsində molekulyar buludlarda mərkəzi nüvənin hidrogeni yandırmaq üçün kifayət qədər temperatura çatdığı andan Baş Ardıcılığa daxil olana qədər bir neçə mərhələdən ibarətdir. Böyük kütləli cavan ulduzlar sürətli erkən təkamül zamanı optik qalın örtüklərini saxlasalar da, kiçik kütləli ulduzlar Baş Ardıcılıqda sağ yuxarı hissədə yerləşmişdir. Baş Ardıcılıq boyunca yerləşən ulduzlar ümumiyyətlə ulduz kütlələrinə görə təsnif edilir. Kiçik kütləli cavan ulduzlar T Tauri ulduzlarıdır ($TT; 0.1 < M^*/M_{\odot} < 2$). TTS ulduzlar iki alt sinifə bölünür: CTTS ulduzlar-optik qalın akkresiya diski ilə əhatə olunmuşlar, WTTS ulduzlar- qalın disklərə malikdirlər. Bu tip ulduzların kütləsi $\sim 2.5 M_{\odot}$, temperaturu ~ 8500 K olan fotosfer qatı hələ də tam konvektivdir və buna görə də dinamo mexanizmi vasitəsilə ətrafda maqnit sahələri yarada bilər. Ulduzlarda maqnit sahəsinin mövcud olub-olmaması, cavan ulduzların akkresiya yolu ilə kütlələrini necə qazandıqlarını başa düşməyə imkan verir. CTTS-lərin əksər xarakteristikalarını özündə cəmləşdirən daha böyük kütləli nümayəndələr Herbig Ae/Be ulduzlarıdır. Əsasən, HAE/Be A və B spektral tipli, spektrlərində H α və digər emissiya xətlərini göstərən cavan ulduzlardır (>10 Myr) və fotosfer şüalanmasında ulduzətrafi disk infraqırmızı artıqlıqla əmələ gəlir. Geniş və fərqli diapozonları əhatə edən bir neçə yavaşmada başa düşmək lazımdır ki, ulduz formalaşması zamanı böyük hissədən kiçik hissəyə maddə axını necə baş verir? Son illərdə ulduz formalaşmasında araşdırmalar göstərir ki, çox-çox kiçik 1 a.v məsafədə ulduzətrafi maddənin əslində ulduzun səthi üzərində necə toplandığını bilməyi tələb edir. Ulduzların akkresiyası ulduzəmələgəlmə sürəti kimi "makroskopik" parametrlərin təxmin edilməsinə və ya hətta ən kiçik məsafədə planetlərin əmələ gəlməsi prosesinə təsir

göstərə bilər. Hal-hazırda qəbul edilir ki, bütün cavan ulduzlar dairəvi ulduz diskləri ilə əhatə olunub və bu disklər vasitəsilə son kütlələrinin cüzi bir hissəsini toplaya bilərlər.

HAE/BE tipli cavan ulduzlarda, ilkin sübutlara görə akkresiya ultrabənövşəyi (UB) şüalanma xətlərinə və ya infraqırmızı artıqlığa əsaslanırdı. Xüsusilə, [6] işində akkresiya tempini İQ artıqlıq və xarici örtük modeli əsasında hesablamışdır. [12] tərəfindən daha sonra təklif etdilər ki, bəzi HAE-lərin NaI dublet xətlərində müşahidə olunan infraqırmızı udulma maqnitofosfer akkresiya modelində polyametrik dəyişkənlik kimi izah olunur. HAE və HBe ulduzlarının H α spektropolyametrik müşahidələr arasındakı fərqi, disk-ulduz akkresiyasının spektral tiptən asılı olaraq birbaşa keçid kimi başa düşülür [14]. Oxşar spektropolyametrik müşahidələr daha çox ulduz və spektral xətlər daxil olmaqla bir tərəfdən CTTS və HAE ulduzlarında, digər tərəfdən isə HBe-də fərqli akkresiya modeli ilə əlaqəli olan bu davranış dəyişkənliyini təsdiqlədi. Bununla paralel olaraq, [3] tərəfindən yaxın infraqırmızı (İQ) interferometriya məlumatlarına görə müxtəlif daxili disk quruluşuna əsaslanaraq, HAE/Be-də maqnit akkresiyasından disk akkresiyasına keçid ola biləcəyini irəli sürdü. Eyni vaxtda [2] işində təkcə bu mənbələrin yaxın ultrabənövşəyi şüalanma artıqlığının və xətt profillərinin maqnitofosfer akkresiya modelinə uyğun olduğunu deyil, həm də akkresiya zərbə modelləşdirməsindən əldə edilən akkresiya parlaqlıqları ilə Bry emissiya xəttinin parlaqlığı arasında yaxşı korrelyasiya olduğunu və CTTS ulduzlarından TTS-ə qədər genişləndiyi göstərildi. Hal-hazırda, GAIA arxiv məlumatları əksəriyyət HAE/Be ulduzları üçün güclü H α emissiya xətti və ya ulduz parlaqlığı ilə yaxşı korrelyasiyası etmiş akkresiya tempini müəyyən etməyə icazə verir [17].

Seçilmiş HAEBE ulduzlarında maqnit sahəsi.

Star	M_{*min}	R_{*max}	$v \sin i^{max}$	i^{min}	P_{*min}	M_{acc}^{min}	B_{min}	$B_{measured}$
.....	M_{\odot}	R_{\odot}	$km \ s^{-1}$	$^{\circ}$	days	$M_{\odot} \ yr^{-1}$	G	G
HD 31648	1.9	2.4	102	39	0.75	1.12×10^{-7}	92	416 ± 125
HD 35929	2.2	7.6	64	32	3.19	3.98×10^{-7}	38	54 ± 23
HD 36112	1.6	2.2	59	49	1.43	5.25×10^{-8}	150	89 ± 84
V380 Ori	2.6	4.0	7.8	27	4.20	3.02×10^{-7}	347	2120 ± 150
BF Ori	1.7	2.0	48	70	1.98	5.75×10^{-8}	326	87 ± 36
HD 58647	3.4	5.5	122	55	1.87	1.07×10^{-6}	125	218 ± 69
Z CMa	1.9	11.8	110	30	2.72	1.82×10^{-7}	5	1231 ± 164
HD 97048	2.3	2.4	160	38	0.47	1.78×10^{-7}	77	105 ± 58
HD 98922	4.5	13.6	53	20	4.44	2.75×10^{-6}	49	135 ± 64
HD 100546	2.2	2.0	5	22	0.69	1.02×10^{-7}	150	106 ± 52
HD 101412	2.3	2.8	4	80	34.9	2.29×10^{-7}	10.291	273 ± 53
HD 104237	2.0	3.0	8	8	2.64	1.41×10^{-7}	255	56 ± 35
HD 139614	<1.6	1.4	27	32	1.39	4.68×10^{-8}	<528	73 ± 26
HD 144432	1.6	2.4	83	24	0.60	5.75×10^{-8}	42	100 ± 50
HD 144668	2.1	3.9	210	52	0.74	3.24×10^{-7}	42	106 ± 34
HD 150193	2.0	2.4	113	32	0.57	1.23×10^{-7}	72	159 ± 136
HD 176386	2.4	2.4	181	50	0.51	1.70×10^{-7}	87	130 ± 81
HD 190073	3.8	12.5	8	31	40.8	1.82×10^{-6}	642	62 ± 21

CCTS ulduzlarının güclü maqnit sahəsinə malik olmasına baxmayaraq, HAe/Be tip ulduzlarda zəif maqnit sahəsi mövcüddür və bu akkresiya üçün əsas tələb deyil. Məlumdur ki, Herbig Ae/Be tip cavan ulduzlarda maddə axınının baş verməsi üçün minimum maqnit sahəsi vacibdir.

HAe/Be tip ulduzlarda maqnit akkresiyasının mövcüd olması hələdə təsdiqini tapmamışdır. HAeBe-də akkresiya tempi, akkresiya zərbə dalğası və ya emissiya xəttinin modelləşdirilməsini əhatə edən birbaşa metodlardan, ya da bu modelə əsaslanan empirik korrelyasiyadan ibarət dolayı metodlardan müşahidə üsulu ilə müşahidə edilə bilər. Bu metodlar aşağıdakı kimi izah olunur:

1. Akkresiya zərbə modelləşdirilməsi- Bu metod, akkresiya zərbəsinin təsirindən spektrin yaxın UB-yə oblastında müşahidə olunan şüalanma artıqlığını təkrarlamaqla M_{acc} dəyərini birbaşa almaq üçün ən dəqiq üsuldür. Həmin təsir HAeBe üçün qara cisim kimi modelləşdirilə bilər [2,7]. HAeBe-də qısa dalğalar istisna olmaqla indiyədək dalğa uzunluğu diapozonu araşdırması Balmer seriyası (ΔD_B) üzərində cəmlənmişdir. Şəkil 4-də verilmiş asılıqdan görüldüyü kimi ΔD_B -i və M_{acc} -in qiyməti məsafədən asılı deyil, lakin ölçülən artıqlığın qəbul edilən ulduz

parametrlərindən asılı olduğunu nəzərə alsaq, dolayı yolla məsafədən asılı ola bilər.

2. Emissiya xəttinin modelləşdirilməsi- Maqnitofər akkresiya modelinə görə, Balmer seriyası xətləri $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ və.s), natrium dublet (NaI) və ya HeI kimi bir neçə şüalanma xəttinin keçidləri isti qazın sərbəst axınında daxili diski və ulduz səthindəki akkresiya zərbələri ilə əlaqələndirilir (şəkil 2). Ulduzun əsas parametrlərindən başqa (T^* , M_* , R_* və $v \sin i$), emissiya xətt modelləşməsi diskin meyli, maqnitofərin ölçüsü, diskin kəsilmə radiusu və qaz temperaturundan asılıdır [15,16]. Verilən ulduz parametrlərinin sayını nəzərə alsaq, MA xətti modelləşməsi M_{acc} ulduz ölçüsü ilə təyin oluna bilər.

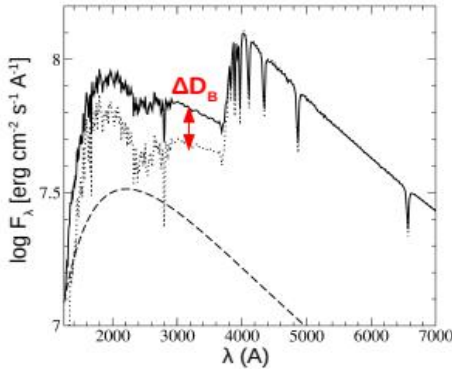
3. Ulduz işıqlığına görə empirik korrelyasiya- Verilmiş şüalanma xəttinin parlaqlığının L_{acc} ilə əlaqəli olması xəttin mənşəyi ilə akkresiya mexanizmi arasında faktiki fiziki əlaqənin olması demək deyil. Şəkil 3-də L_{acc} və L_* arasındakı əlaqədən yaranan düzgün korrelyasiya təsvir olunmuşdur. Akkresiya L_{acc} - L_* empirik ifadəsindən təyin edilə bilər. Bu empirik ifadə kütlə rejimindən asılıdır və demək olar ki, bütün HAe/Be tip cavan ulduzlarda akkresiyasının qiymətini təyin etmək üçün istifadə edilir [5,18].

4. Şüalanma xətlərinin işıqlığına görə empirik korrelyasiya- Yaxın ultrabənövşəyi və infraqırmızı

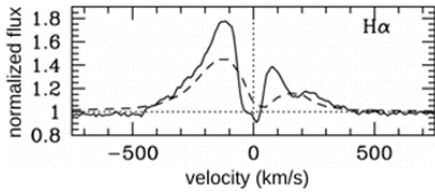
oblastda HAE/Be tip cavan ulduzlarda akkresiya işıqlığı bir çox şüalanma xətlərinin işıqlığı ilə yaxşı korrelyasiyası müəyyən olunur (şəkil 4). Bu şüalanma xətlərinin fiziki mənşəyindən asılı olmayaraq, hamısı emissiya xəttinin parlaqlığını ölçmək və aşağıdakı müvafiq empirik ifadədən istifadə etməklə akkresiya tempini təyin etmək üçün istifadə edilir [4,10]:

$$\log \left(\frac{L_{acc}}{L_{\odot}} \right) = A + B \times \log \left(\frac{L_{line}}{L_{\odot}} \right)$$

Digər metodlara gəldikdə isə, nisbətən uzun müddət ərzində güclü dəyişikliklər istisna olmaqla, akkresiya dəyişkənliyini ölçməyə imkan vermir. L_{acc} - L_{line} korrelyasiyasına təsir edən $\sim \pm 1$ dex qədər akkresiya dəyişikliklərinin müşahidə olunmasında nəticə verməyə bilər. Yəni də müəyyən bir ulduz üçün L_{line} bircins dəyişmələri akkresiya sürətinin dəyişməsi ilə əlaqəlidir. Bununla belə, emissiya xətləri akkresiyadan başqa digər proseslərdən də yarana bilər və beləliklə, onların dəyişkənliyi əlavə mexanizmlər və vaxt tələb edir. Herbig Ae/Be ulduzlarda aşağı sıxlıqlı protoplanet diskərin və səth təbəqələrinin aşkarlanmasında [OI] 6300 Å şüalanma xəttini misal çəkmək olar ki, onun parlaqlığı hələ də L_{acc} ilə əlaqələndirilir və akkresiyanın müəyyən edilməsinə imkan verir [7].



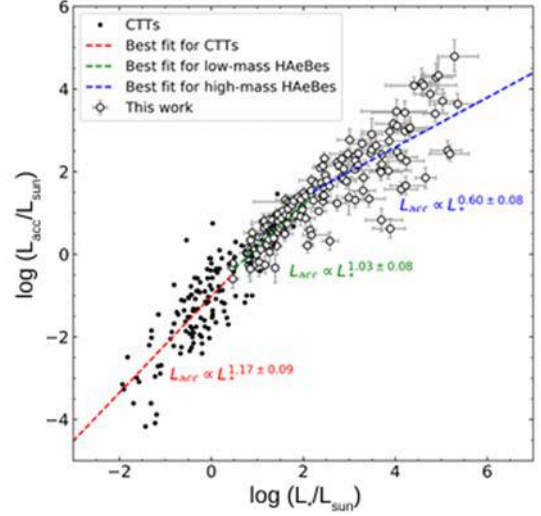
Şəkil 1. Akkresiya zərbə modeli [7].



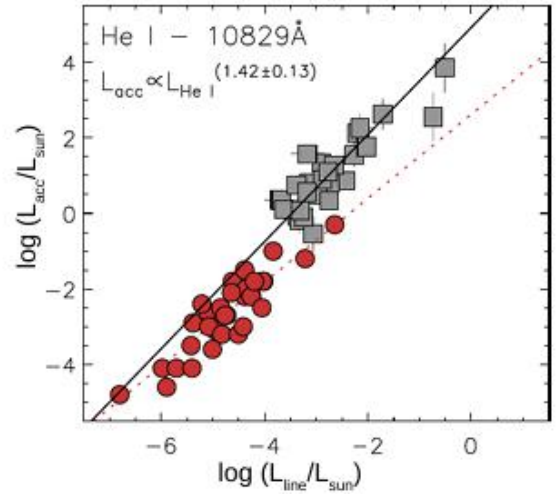
Şəkil 2. UX Ori HAE ulduz xətt profilinin emissiya xətti modelləşdirilməsi ilə müqayisəsi [8].

Qeyd etməliyik ki, cavan ulduzlarda akkresiya prosesi tez-tez dəyişkən bir prosesdir. Müəyyən olunur

ki, kütlə akkresiya tempi ulduzun kütləsindən asılıdır, yəni böyük kütləli ulduzlarda akkresiya daha çoxdur. Belə ki, HBe tip cavan ulduzlarla müqayisədə HAE-də akkresiya tempi və kütlə arasında kəskin asılılıq var. Digər tərəfdən HAEBe-də akkresiya parlaqlığı asılılığı TTS-lə müqayisədə eynidir [19].



Şəkil 3. TTS, kiçik və aralıq kütləli HAEBe-in (açıq simvollar) ulduz parlaqlığının akkresiya parlaqlığı ilə müqayisəsi [18].



Şəkil 4. He I 10829 Å emissiya xətt parlaqlığının HAEBe (boz) akkresiya parlaqlıqları ilə müqayisəsi [1,4].

Nəticədə kiçik kütləli ulduzlarda (CTTS, WTTS) akkresiya tempini təyin etmək üçün istifadə edilən və maqnitofər akkresiyası modelinə əsaslanan bu metodların əksəriyyəti, oxşar dəqiqliklə HAE/BE tipli cavan ulduzlardada tətbiq edilə bilər.

[1] J.M.Alcalá, A.Natta, C.F.Manara, L.Spezzi, B.Stelzer, A.Frasca, K.Biazzo, E.Covino, S.Randich, E.Rigliaco et al. X-shooter spectroscopy of young stellar objects. IV. Accretion in low-mass stars and substellar objects in Lupus, Astron. Astrophys., A2 (2014) 561.

[2] N.Calvet, J.Muzerolle, C.Briceno, J.Hernandez, L.Hartmann, J.L.Saucedo, K.D.Gordon. The Mass Accretion Rates of Intermediate-Mass T Tauri Stars, Astron. J., 1294 (2004) 128.

[3] J.A.Eisner, B.F.Lane, L.A.Hillenbrand, R.L.Akeson, A.I.Sargent. Resolved Inner Disks

- around Herbig Ae/Be Stars, *Astrophys. J.*, 1049 (2004) 613.
- [4] *J.R.Fairlamb, R.D.Oudmaijer, I.Mendigutía, J.D.Ilee, M.E.van den Ancker*. A spectroscopic survey of Herbig Ae/Be stars with X-Shooter—II. Accretion diagnostic lines, *Mon. Notices R. Astron. Soc.*, 4721 (2017) 464.
- [5] *J. Guzmán-Díaz, L. Mendigutía, B. Montesinos*. Homogeneous characterization of stellar and circumstellar parameters of Herbig Ae/Be stars, *Astron. Astrophys.*, 300 (2012) 254.
- [6] *L.A. Hillenbrand, S.E. Strom, F.J.Vrba, J. Keene*, *Herbig Ae/Be Stars: Intermediate-Mass Stars Surrounded by Massive Circumstellar Accretion Disks*, *Astrophys. J.*, 613 (1992) 397.
- [7] *I.Mendigutía, C.Eiroa, B.Montesinos, A.Mora, R.D.Oudmaijer, B.Merín, G.Meeus*. Optical spectroscopic variability of Herbig Ae/Be stars, *Astron. Astrophys.*, A34 (2011) 529.
- [8] *J.Muzerolle, P.D'Alessio, N.Calvet, L.Hartmann*. Magnetospheres and disk accretion in Herbig Ae/Be stars, *Astrophys. J.*, 406 (2004) 617.
- [9] *C.J.Lada*. Star formation: From OB associations to protostars, *IAU Symp.* 230 (1987) 115.
- [10] *E.Rigliaco, I.Pascucci, G.Duchene, S.Edwards, D.R.Ardila, C.Grady, I.Mendigutía, B.Montesinos, G.D.Mulders, J.R.Najita et al.* Probing Stellar Accretion with Mid-infrared Hydrogen Lines, *Astrophys. J.*, 31 (2015) 801.
- [11] *T.Simon, T.R.Ayres, S.Redfield, J.L.Linsky*. Limits on Chromospheres and Convection among the Main-Sequence A Stars, *Astrophys. J.*, 800 (2002) 579.
- [12] *C.Sorelli, V.P.Grinin, A.Natta*. Infall in Herbig Ae/Be stars: What NA D lines tell us, *Astron. Astrophys.*, 155 (1996) 309.
- [13] *F.Villebrun, E.Alecian, G.Hussain, J.Bouvier, C.P. Folsom, Y.Lebreton, L.Amaral, C.Charbonnel, F.Gallet, L.Haemmerlé et al.* Magnetic fields of intermediate-mass T Tauri stars. I. Magnetic detections and fundamental stellar parameters, *Astron. Astrophys.*, A72 (2018) 622.
- [14] *J.S.Vink, J.E.Drew, T.J.Harries, R.D.Oudmaijer*. Probing the circumstellar structure of Herbig Ae/Be stars, *Mon. Notices R. Astron. Soc.*, 356 (2002) 337.
- [15] *J.S. Vink, T.J. Harries, J.E. Drew*. Polarimetric line profiles for scattering off rotating disks. *Astron. Astrophys.*, 213 (2005) 430.
- [16] *J.S.Vink, J.E.Drew, T.J.Harries, R.D.Oudmaijer, Y.Unruh*. Probing the circumstellar structures of T Tauri stars and their relationship to those of Herbig stars, *Mon. Notices R. Astron. Soc.*, 1049 (2005) 359.
- [17] *M.Vioque, R.D.Oudmaijer, D.Baines, I.Mendigutía, R.Pérez-Martínez*. Gaia DR2 study of Herbig Ae/Be stars. *Astron. Astrophys.*, A128 (2018) 620.
- [18] *C.Wichittanakom, R.D.Oudmaijer, R.D.Fairlamb, I.Mendigutía, M. Vioque, K.M. Ababakr*. The accretion rates and mechanisms of Herbig Ae/Be stars, *Mon. Notices R. Astron. Soc.*, 234 (2020) 493.
- [19] *H.Yang, G.J.Herczeg, J.L.Linsky, A.Brown, C.M.Johns-Krull*. Far-ultraviolet Atlas of Low-resolution Hubble Space Telescope Spectra of T Tauri Stars, *Astrophys. J.*, 121 (2012) 744.

F.S. HUSEYNOVA

MAGNETOSPHERIC ACCRETION MEASUREMENTS OF HAE/BE STARS

Understanding how young stars gain their masses through disk-to-star accretion is of paramount importance in astrophysics. It affects our knowledge about the early stellar evolution, the disk lifetime and dissipation processes, the way the planets form on the smallest scales, or the connection to macroscopic parameters characterizing star-forming regions on the largest ones. For low-mass T Tauri stars with strong magnetic fields there is consensus that magnetospheric accretion (MA) is the driving mechanism. However, in medium-mass HAE/BE young stars with a weak magnetic field around them, matter transfer probably occurs directly from the disc to the star through the hot boundary layer.

Ф.С. ГУСЕЙНОВА

ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТОСФЕРНОЙ АККРЕЦИИ ЗВЕЗД НАЕ/ВЕ

Понимание того, как молодые звезды набирают массу в результате аккреции от диска к звезде, имеет первостепенное значение в астрофизике. Это влияет на наши знания о ранней звездной эволюции, времени жизни диска и процессах диссипации, о том, как формируются планеты в самых маленьких масштабах, или о связи с макроскопическими параметрами, характеризующими области звездообразования в самых крупных. Для звезд Т Тельца малой массы с сильными магнитными полями существует консенсус, что движущим механизмом является магнитосферная аккреция (МА). Однако у молодых звезд НАЕ/ВЕ средней массы со слабым магнитным полем вокруг них перенос вещества, вероятно, происходит непосредственно из диска. к звезде через горячий пограничный слой.