



UDK: 523.4, 520.8

*Salohiddin ERGASHEV,*  
*Sammarqand davlat universiteti kichik ilmiy xodimi*  
*E-mail:ergashevsalohiddin111@samdu.uz*

*O'zRFA Astronomiya instituti katta ilmiy xodimi, PhD K.Ergashev taqrizi asosida*

#### EXZOSAYYORALAR TADQIQOTI GJ 3470 NING OPTIK KUZATUVLARI MISOLIDA

Annotatsiya

Ushbu maqolada ekzosayyoralar qidirish usullari, ilk kashfiyotlar, ekzosayyoralar qidirish bo'yicha kosmik missiyalar haqida ma'lumotlar keltirilgan. Ekzosayyoralar tadqiqotiga misol tariqasida M1.5 tipidagi mitti qizil yulduz GJ 3470 atrofida aylanadigan GJ 3470 b ekzosayyorasining Maydanak observatoriyasidagi optik kuzatuvlari asosida aniqlangan orbital parametrlari taqdim etilgan. Hamda, olingan natijalar boshqa tadqiqotlarda keltirilgan natijalar bilan qiyosiy tahlil natijalari keltirilgan.

**Kalit so'zlar:** Ekzosayyora, tranzit metodi, GJ 3470 b, yorug'lik egri chizig'i, fotometriya, Maydanak observatoriyasi, orbital parametrlar.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОПЛАНЕТ НА ПРИМЕРЕ ОПТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ GJ 3470

Аннотация

В этой статье представлена информация о методах поиска экзопланет, ранних открытиях и космических миссиях по поиску экзопланет. В качестве примера исследования экзопланет представлены параметры орбиты экзопланеты GJ 3470 b, вращающейся вокруг красного карлика GJ 3470 типа M1.5, определенные на основе оптических наблюдений на Майданакской обсерватории. Также, приведены результаты сравнительного анализа с результатами других исследований.

**Ключевые слова:** экзопланета, метод транзита, GJ 3470 b, кривая блеска, фотометрия, Майданакская обсерватория, орбитальные параметры.

#### EXOPLANET RESEARCH BASED ON OPTICAL OBSERVATIONS OF GJ 3470

Annotation

This publication provides information on exoplanet search methods, early discoveries, and space missions to search for exoplanets. An example for exoplanet research is the exoplanet GJ 3470 b, which is rotating around the M1.5 red dwarf star GJ 3470. The orbital parameters determined based on the optical observations at the Maidanak Observatory are presented. Also, the results of a comparative analysis with the results of other researches are presented.

**Key words:** exoplanet, transit method, GJ 3470 b, light curve, photometry, Maidanak Observatory, orbital parameters.

**Kirish.** Ekzosayyoralar – o'zga yulduzlar atrofida aylanuvchi sayyoralar bo'lib, ular Quyosh tizimidan tashqarida joylashganligi bilan birga ularning o'ziga xos atmosferasi, tarkibi va xususiyatlari mavjud. Ekzosayyoralar mavjudligi haqidagi ilk fikrlarni italyan faylasufi va olimi Giordano Bruno (yashash yillari 1548-1600) tomonidan falsafiy nuqtai nazardan fizik asossiz bildirilgan. XIX asr oxiri va XX asr boshlarida ekzosayyoralar mavjudligini fizik asoslashga urinishlar bo'lgan. Ekzosayyoralar aniqlash imkonini beruvchi radial tezliklar (hozirda Dopler usuliga kiritilgan) usulini 1952 yildan Otto Struve tomonidan taklif etilgan [1]. Birinchi tasdiqlangan ekzosayyora 1988 yilda topilgan va 1992 yilda tasdiqlangan. Bu ekzosayyora PSR 1257+12 pulsari atrofida aylanadi [2]. Odatiy yulduz atrofida aylanuvchi ilk ekzosayyora 1995 yilda Michel Mayor va Didier Queloz tomonidan 51 Peraca (51 Peg) yulduzida topilgan [3,4]. Aynan 51 Peraca b ekzosayyorasi oddiy yulduz atrofida topilgan ilk ekzosayyora deb qabul qilingan.

Topilgan va aniqlangan ekzosayyoralar soni ortishi bilan ularni sinflashtirish muammosi paydo bo'ldi. Ekzosayyoralar sinflashtirishda birinchi parametr sifatida bizga yaxshi ma'lum sayyoralar tipi (massa birliklaridan) foydalanib sinflashtirila boshlandi, masalan, Yer yoki Yupiter tipidagi ekzosayyora deb sinflashtirildi [5]. Har bir tip massasiga qarab yanada aniqroq quyi tiplarga ajratildi [6]. Tadqiq etilayotgan ekzosayyoraalarning orbital parametrlari aniqligi oshishi va ularning tizimlari topilishi natijasida endilikda ekzosayyoralar orbitalari bo'yicha ham tasnif qilinmoqda [7].

2024-yil 4-oktyabr holatiga ko'ra, 7236 ta ekzosayyora topilgan bo'lib, 4304 ta sayyora tizimida 5765 ta tasdiqlangan ekzosayyoralar mavjud, 965 ta tizim bittadan ortiq sayyoriga ega. Ekzosayyoralar kataloglarini tahlil qilib, biz katta masofalarda Yerga o'xshash sayyorani kichik o'lchamlari va massasi tufayli zamonaviy asbob-uskunalar bilan aniqlash juda muammoli ekanligini osongina ishonch hosil qilishimiz mumkin, chunki deyarli barcha kashf etilgan ekzosayyoralar, asosan, katta o'lchamlarda va asosan gaz sayyoralar ekanligini ko'rishimiz mumkin. Topilgan ekzosayyoralarining 40% Neptunga o'xshash, 33% gaz gigantlari, 25% tosh sayyoralar, 1,4% super-yerlar, 0,6% noma'lum turdagi sayyoralar [8]. So'ngi yillardan ekzosayyoralar asosan TESS [9] kabi kosmik missiyalar tomonidan topilmoqdan va yerdagi kuzatuvlar asosida tasdiqlanmoqda.

**Ekzosayyoralar aniqlash metodlari.** Ekzosayyoralar aniqlash uchun bir qancha metodlar mavjud bo'lib asosiylari quyidagilar hisoblanadi:

*Tranzit metodi:* Sayyora yulduz oldidan o'tganida, yulduzning yorqinligi vaqtincha pasayadi va ilk bor ushbu metod asosida HD 209458 ekzosayyorasi tadqiq etilgan [9]. Bu metod Kepler va TESS missiyasi tomonidan keng qo'llanilib kelinmoqda [10, 11]. Bugungi kungacha 4300 dan ortiq ekzosayyora ushbu usulda topilgan [8].

*Radial tezlik metodi:* Sayyora yulduz atrofida aylanganligi sababli, yulduzda tebranish hosil bo'ladi. Yulduzning spektrida qizil yoki ko'k siljishni kuzatish orqali sayyoraning massasi va orbitasi haqida ma'lumot olish mumkin. Ushbu metod ilk bor Otto Struve tomonidan [1] taklif etilganiga qaramay usulning batafsil asosiy ta'rifi 2003 yilda Lennart Lindegren va Dainis Dravinslar tomonidan keltirilgan [12,13]. Ilk ekzosayyora 51 Peg b radial tezlik metodi yordamida topilganini eslatib o'tamiz [3,4], hamda shu kungacha 1050 dan ortiq ekzosayyora shu metod bilan topilgan [8].

*Gravitatsion mikrolenzalanish metodi:* Yulduz va sayyora boshqa yulduzning oldidan o'tayotganda ya'ni to'sgan vaqtda, ularning gravitatsiyasi yorug'likni qiyshaytiradi va sayyorani aniqlash imkonini beradi. Ushbu usulda ilk bor OGLE-2005-BLG-390 ekzosayyora tizimi aniqlangan [14]. Gravitatsion mikrolenzalanish metodi o'ziga xos bo'lganligi sababli hozirgacha ushbu usulda 230 ta ekzosayyora aniqlangan [8].

*To'g'ridan to'g'ri tasvirini olish metodi:* Ekzosayyoraning radiusi katta bo'lsa va bosh yulduz atrofidagi orbita radiusi nisbatan katta bo'lsa, ekzosayyoralar aniqlash uchun adaptiv optika va tojni to'g'ridan-to'g'ri tasvirlash usulidan foydalanish mumkin. Ushbu usul yordamida ilk ekzosayyora 2MASSWJ 1207334-393254 yulduzi atrofida topilgan [15]. To'g'ridan to'g'ri tasvirini olish metodi talablari juda qat'iy bo'lganligi sababli ushbu usul yordamida 82 ta ekzosayyora aniqlangan.

**Kosmik missiyalar tarixi.** Ekzosayyoralar o'ziga xoslik xususiyatlaridan kelib chiqib ularni izlash va aniqlash uchun ko'plab urinishlar xam Yerdan tirib xam kosmosdan amalga oshirilmoqda. Ekzosayyoralar izlash uchun ilk kosmik missiya sifatida 2003 yilda uchirilgan kanadaning MOST (The Microvariability and Oscillations of Stars/Microvariability et Oscillations STellaire) kosmik teleskopi sanaladi [16]. MOST ekzosayyoralar qidirishda yulduzlardagi mikro o'zgarishlar va tebranishlardan foydalangan.

Navbatdagi omadli kosmik missiya COROT (ing. - CONvection ROTation and planetary Transits) bo'lib u 2006 yilda kosmosga uchirigan [17]. COROT yulduz oldidan sayyora o'tganda muntazam ravishda yorqinligining o'zgarishini kuzatish orqali, soddaroq aytganda tranzit usulidan foydalanib ekzosayyora qidirilgan. Bu missiya 34 ta tasdiqlangan va 600 dan ortiq ekzosayyoralar nomoz aniqlagan bo'lib ushbu missiya orqali aniqlangan ekzosayyoralar COROT va topilganligi tartib raqami berilgan [18].

Ekzosayyoralar qidirishda eng muvaffaqiyatli kosmik missiyalardan biri Kepler kosmik teleskopi (NASA ning kosmik observatoriyasi) bo'lib, u 2009 yilda uchirilgan. Bu teleskop transit usuli yordamida ekzosayyoralar, ayniqsa Yerga o'xshash ekzosayyoralar qidirish uchun mo'ljallangan [19, 10]. Kepler missiya 3200 dan ortiq tasdiqlangan va 4700 dan ortiq ekzosayyoralar nomoz aniqlagan bo'lib, ushbu missiya aniqlab tasdiqlagan ekzosayyoralar Kepler, KIS (Kepler input catalog) nomi va topilganligi tartib raqami berilgan [20]. Keplerning nomzod ekzosayyoralar odatda KOI (The Kepler object of interest) nomi va tartib raqami bilan uchraydi. 2013 yilda NASA olimlari tomonidan Kepler missiyasi K2 shifri bilan 2016 yilgacha cho'zilganligini e'lon qilishgan.

NASAning hozirgi kundagi muvaffaqiyatli missiyalaridan hisoblangan TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) kosmik teleskopi tranzit usuli bilan ekzosayyoralar qidirish uchun maxsus uchirilgan teleskop hisoblanadi [11]. TESS 2018 yilda NASA tomonidan uchirilgan. TESS topgan va aniqlagan ekzosayyoralar TOI (TESS Object of Interest) [21] yoki TIC [1]. (TESS Input Catalog) ortirmasi bilan farqlanadi. Bugungi kunga qadar TESS tomonidan 560 dan ortiq ekzosayyora tasdiqlangan va 7200 ortiq ekzosayyoralar nomzodlar o'z tasdig'ini kutmoqda [misol uchun qarang 22, 23].

Tadqiqotlarni endi boshlagan kosmik missiyalar 2019 yilda uchirilgan CHEOPS (CHAracterising ExOPlanets Satellite) [24] va 2022 yilda uchirilgan infraqizil kosmik observatoriya JWST (The James Webb Space Telescope) [25,26] teleskoplarini misol qilishimiz mumkin. Aytib o'tish kerak CHEOPS tranzit usuli yordamida ekzosayyoralar qidirish va o'rganish uchun mo'ljallangan. JWST esa ma'lum ekzosayyoralar infraqizil diapazonda o'rganishga mo'ljallangan.

**GJ 3470 xususiyatlari.** GJ 3470 (LP 424-4, 2MASS J07590587+1523294, NLTT 18739, TIC 19028197) qisqichbaqa (Cancr) turkumida joylashgan M1.5 spektral tipidagi mitti qizil yulduz bo'lib, Quyoshdan taxminan 80 yorug'lik yili masofada joylashgan. GJ 3470 ob'yektining asosiy parametrlari quyidagicha:  $\alpha = 07^h59^m05.64^s$ ,  $\delta = +15^\circ23'28.35''$ ,  $m_v = 12.332$ , Parallaxi=33.9601±0.0581 mas (mas - milliarcsekundni anglatadi.),  $T_{eff} = 3652 \pm 50 K$ ,  $M_* = 0.51 \pm 0.6M_\odot$ ,  $R_* = 0.48 \pm 0.4R_\odot$  [8, 27]. GJ 3470 yulduzi etaricha yorqin bo'lganligi sababli u ko'plab mitti yulduzlar qatori o'rganilgan [28,29].

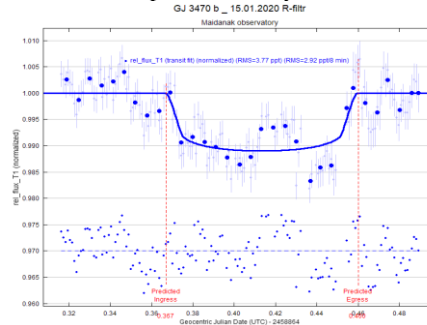
GJ 3470 b ekzosayyorasi 2012 yilda Bonfils va boshqalar tomonidan HARPS spektrografi bilan radial tezlik usulida M mitti yulduzlar atrofida qisqa muddatli sayyoralar qidirish vaqtida topilgan va uning transit chuqurligi  $5.69 \pm 0.47$  mmag teng ekanligi aniqlangan [30]. GJ3470 b ning tranzit parametrlari Kosiarek va boshqalar(2019) hamda Nascimbeni va boshqalar(2013) tomonidan o'rganilib aniqlashtirilgan [31,32]. 2020 yilda Scott va boshqalar tomonidan GJ 3470 yulduzi atrofida 3 ekzosayyora nomzod aniqlangani haqida hisobot berilgan, biroq bugungi kungacha to'la tasdiqlanmadi [33]. Ushbu ob'yektni biz ekzosayyoralar o'rganishda Maydanak observatoriyasi imkoniyatlarini baholash va uchunchi ekzosayyorani tasdiqlashga urinish uchun qayta o'rgandik.

**GJ 3470 kuzatuvlari.** Ma'lumki, obektlarni tanlash quyidagi mezonlar asosida amalga oshirildi: obektning koordinatalari, tizimning asosiy yulduzning yorqinligi ekzosayyoraning orbital davri, tutilish chuqurligi, kuzatishlarni ekzosayyora tutilishi davrida olib borilishi ya'ni efemerid vaqtini hisobga olinishi. Tadqiqot obektlari uchun kuzatishlar ko'proq bitta obekt ustida olib boriladi, ya'ni har bir obekt kamida 3 ta tranzitini kuzatish kerak bo'ladi. Ekzosayyoralar (davrlarning) tutilish vaqtini aniqlash uchun ekzosayyora tizimlarining fazalarini hisoblash kerak.

Ushu maqolada keltirilgan barcha kuzatishlar O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Maydanak observatoriyasining 60 sm.li Zeiss-600 (NT-60) teleskopida, yorug'lik qayt qilgich sifatida FLI NEW ZAQ kameradan foydalanilgan. FLI NEW ZAQ kamerasi piksellari soni 1Kx1K, bitta piksel fizik o'lchami 24 mkm, ko'rish maydoni (FOV) 11.7x11.7 yoy minut, o'qib olish shovqini (readout noise) 13 e<sup>-</sup> va kuchaytirish ko'effitsiyenti 5. Tasvirlar R filtrda 60 va 90 sekundlik ekspozitsiya vaqti bilan olingan. Bundan tashqari, kuzatilgan har bir kechada yordamchi bias, dark va flat tasvirlar ikki martadan (ertalab va kechqurun) olingan.

Har bir kecha uchun dark tasvirlar kuzatilayotgan yulduzlar bilan bir xil ekspozitsiya vaqti bilan, flat tasvirlar esa yulduzlar tasviri bilan bir xil filtrlarda olib borildi. 2020 yilning yanvar, fevral, mart oylaridagi kuzatishlarimiz davomida biz NT-60 teleskopida 2304 ishchi ZAQ (zaryadli aloqa qurilma) tasvirini oldik. Ta'kidlash joizki, ekzosayyoralarini kuzatish bugungi kungacha davom etmoqda. Biz kuzatuvlarni asosan R yorug'lik filtrida olib bordik, ammo o'rganilayotgan obektlar sohasida kashf etilgan yangi o'zgaruvchan yulduzlarni o'rganish uchun B, V, I filtrlarida ham ba'zi kuzatishlar o'tkaziladi.

**Fotometrik tahlil:** Ma'lumotlarni birlamchi fotometrik tahlil qilishda LINUX operatsion sistemasida ishlovchi IRAF [2]. (Image Reduction and Analysis Facility) CCDRED paketidan foydalanildi. Birinchi galda birlamchi qayta ishlash uchun zarur bo'lgan quyidagi super tasvirlar hosil qilindi: (1) Bias (nolinchi satxini siljishi) tasvirlardan super bias tasvir; (2) Dark (ZAQ chipi ajratadigan qorong'ulik toki) tasvirlardan super dark tasvir; (3) Flat (kechki va tongi shafaqlarda olinadigan yulduzsiz tasvir bo'lib tasvir yuzasini tekislash uchun ishlatiladi) tasvirlardan super flat tasvir yaratildi.



1-rasm. GJ3470b ning ravshanlik egri chizig'i.

**1-jadval.** GJ3470bning orbital parametrlari Maydanakda olingan kuzatuv ma'lumotlari Kosiarek va boshqalar hamda Nascimbeni va boshqalarning ma'lumotlari bilan solishtirilgan.

Ma'lumki, har bir obyektning o'rganishda shu obyekt kuzatilgan maydonda mavjud bo'lgan yulduzlardan solishtirma yulduzlar belgilab olinadi. Bu yulduzlar obyekt o'zgarishlarini aniqlash uchun juda muhim bo'lib, solishtirma yulduzlarning o'z yorqinliklari o'zgarimas bo'lishi talab etiladi. GJ3470 ning yorqinligini o'zgarishini grafigini hosil qilish va orbital parametrlarini aniqlashda WINDOWS operatsion sistemasida ishlovchi AstroImageJ [3] dasturidan foydalanildi. AstroImageJ dasturi o'rganilayotgan ekzosayyora yorug'lik egri chiziqlarini olishi bilan, shu ravshanlik egri chiziqlarini tahlil qilish va ekzosayyoraning tranzit parametrlarini hisoblash imkononi beradi. Ushbu obyektning Maydanak observatoriyasida olib borilgan kuzatuvlar asosidagi ravshanlik egri chizig'i 1- rasmida va ekzosayyora parametrlari 1-jadvalda keltirilgan. Shuningdek bizning natijalar bilan solishtirish uchun yana ikkita GJ3470b bo'yicha bajarilgan ilmiy ish natijalari keltirilgan.

Parametrlar	Maydanak kuzatuv ma'lumotlari asosida	Kosiarek va boshqalar (2019)	Nascimbeni va boshqalar (2013)
$(R_p/R_*)^2$	0.00603541	0.0040538	0.00674
$a/R_*$	12.790822897	12.92	13.18
$T_0$ (2450...)	8864.413010676	6677.727712	6340.72559
$T_{14}$ (kun)	0.0823184	0.07992	0.0799
$R_p$ ( $R_{Jup}$ )	0.4126172	0.3464	0.4542
$P$ (kun)	3.337	3.3366413	3.336649

Birinchi ustunda  $(R_p/R_*)^2$  - sayyora ko'ndalang kesim yuzini, yulduz ko'ndalang kesim yuziga nisbati,  $a/R_*$  - katta yarim o'qni yulduz radiusiga nisbati,  $T_0$  ( $JD = 2450...$ ) - o'rta tranzit vaqti,  $T_{14}$  - umumiy tranzit davomiyligi,  $R_p$  - ekzosayyora radiusi,  $P$  - aylanish davri.

**Xulosa.** Ushbu tadqiqot GJ 3470b ekzosayyorasining orbital parametrlarini aniqlashga qaratilgan. Maidanak observatoriyasida olingan kuzatuv ma'lumotlari natijalari solishtirma tahlili natijasida ushbu sayyora  $(R_p/R_*)^2$  nisbati xatoliklar doirasida Nascimbeni va boshqalar (2013) qiymatiga mos keldi, biroq Kosiarek va boshqalar (2019) olgan qiymatlardan keskin farq qildi. GJ 3470b ning katta yarim o'qni yulduz radiusiga nisbati  $a/R_*$  Kosiarek va boshqalar (2019) olgan qiymatga yaqin bo'lsada, Nascimbeni va boshqalar (2013) olgan qiymatdan sezilarli farq qildi. Umumiy tranzit davomiyligi ( $T_{14}$ ) boshqa mualliflar olgan natijalardan ~3.45 minutga farqli bo'lib chiqdi. Ekzosayyora radiusi ( $R_p$ ) Kosiarek va boshqalar (2019) olgan natijalariga qaraganda 0.066 ga ortiq farq chiqqan bo'lsada, Nascimbeni va boshqalar (2013) natijalariga qaraganda 0.0416 ga kam farq qildi. GJ 3470b ning aylanish davri ( $P$ ) 3.337 kun ekanligi aniqlandi va bu har ikkala mualliflarning natijalari bilan xatoliklar doirasida mos tushdi. Bunday farqlar ega yulduz atrofida gaz-chang buliti borligi yoki ekzosayyora atmosferasi borligiga ishora qilmoqda.

**Tashakkurlar:** Ushbu tadqiqotni amalga oshirishda qo'llab-quvvatlagan, yordam bergan ilmiy rahbarim O.A. Burxonovga chuqur tashakkur izhor qilaman. Shuningdek, R.G. Karimov, A. Raximov va O. Parmonovlarga Maydanak observatoriyasida optik kuzatuvlarni o'tkazishda ko'rsatgan amaliy yordam va ko'maklari uchun alohida minnatdorchilik bildiraman.

#### ADABIYOTLAR

1. <https://tess.mit.edu/science/tess-input-catalogue/>
2. <https://iraf-community.github.io/>
3. [www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/](http://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/)
4. Struve O. Proposal for a project of high-precision stellar radial velocity work // The Observatory, Vol. 72, p. 199-200. 1952
5. Wolszczan A., Frail D. A. A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12 // Nature, Vol. 355, no. 6356. 145-147. 1992.

6. Mayor Michel, Queloz Didier. A Jupiter-mass companion to a solar-type star // *Nature*, Volume 378, Issue 6555, pp. 355-359, 1995.
7. Mayor M., Bonfils X., Forveille T., et al. The HARPS search for southern extra-solar planets: XVIII. An Earth-mass planet in the GJ 581 planetary system // *Astronomy and Astrophysics*, vol. 507, no. 1. pp. 487-494. 2009.
8. Plavalova Eva. Taxonomy of the Extrasolar Planet // *Astrobiology*, vol. 12, issue 4, pp. 361-369. 2012.
9. Plavalova Eva. Classification of Extrasolar Planets: New Horizons // *ASP Conference Series*, Vol. 496. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p.375. 2015.
10. Zotos Euaggelos E.; Erdi Balint; Saeed Tareq; Alhodaly Mohammed Sh. Orbit classification in exoplanetary systems // *Astronomy & Astrophysics*, Volume 634, id.A60, 15 pp. 2020.
11. NASA Exoplanet Archive <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>
12. Charbonneau D, Brown T M, et al. Detection of Planetary Transits Across a Sun-like Star // *ApJ*, v. 529. L45-L48. 2000.
13. Borucki William J.; Koch David; et al. Kepler Planet-Detection Mission: Introduction and First Results // *Science*, Volume 327, Issue 5968, pp. 977. 2010.
14. Ricker, G. R., Winn, J. N., Vanderpek, R., et al. Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) // *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1, 014003. 2015.
15. Lennart Lindegren and Dainis Dravins. The fundamental definition of “radial velocity” // *Astronomy and Astrophysics*, v. 401. pp. 1185–1201. 2003.
16. Ottoni G., Udry S., et al. CORALIE radial-velocity search for companions around evolved stars (CASCADES). I. Sample definition and first results: Three new planets orbiting giant stars // *Astronomy & Astrophysics*, Volume 657, id.A87, 20 pp. 2022.
17. Beaulieu J P, Bennett D P, Fouque P, et al. Discovery of a cool planet of 5.5 Earth masses through gravitational microlensing // *Nature*, v. 439, pp. 437-440. 2006.
18. Chauvin G., Lagrange A. -M., et al. A giant planet candidate near a young brown dwarf. Direct VLT/NACO observations using IR wavefront sensing // *Astronomy and Astrophysics*, v.425, p.L29-L32. 2004.
19. Green Daniel ; Matthews Jaymie ; Seager Sara ; Kuschnig Rainer. Scattered Light from Close-in Extrasolar Planets: Prospects of Detection with the MOST Satellite // *The Astrophysical Journal*, Volume 597, Issue 1, pp. 590-601. 2003.
20. Alonso, R., Auvergne, M., Baglin, A., et al. Transiting exoplanets from the CoRoT space mission. II. CoRoT-Exo-2b: a transiting planet around an active G star // *A&A*, 482, L21, 2008.
21. Csizmadia Sz., Hatzes A., et al. Transiting exoplanets from the CoRoT space mission\*. XXVIII. CoRoT-33b, an object in the brown dwarf desert with 2:3 commensurability with its host star // *Astronomy & Astrophysics*, Volume 584, id.A13, 12 pp. 2015.
22. Koch David G.; Borucki William J.; Basri Gibor; et al. Kepler Mission Design, Realized Photometric Performance, and Early Science // *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 713, Issue 2, pp. L79-L86. 2010.
23. Lissauer Jack J.; Rowe Jason F.; et al. Updated Catalog of Kepler Planet Candidates: Focus on Accuracy and Orbital Periods // *The Planetary Science Journal*, Volume 5, Issue 6, id.152, 46 pp. 2024.
24. Natalia M. Guerrero, S. Seager, Chelsea X. Huang, et al. The TESS Objects of Interest Catalog from the TESS Prime Mission // *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 254:39 pp. 29, 2021
25. Magliano Christian; Kostov Veselin; Cacciapuoti Luca; et al. The TESS Triple-9 Catalog II: a new set of 999 uniformly vetted exoplanet candidates // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 521, Issue 3, pp.3749-3764, 2023
26. Emilie R. Simpson, Tara Fetherolf, Stephen R. Kane, et al. Variability of Known Exoplanet Host Stars Observed by TESS // *The Astronomical Journal*, v. 166:72, 10pp, 2023
27. Deline A.; Queloz D.; Chazelas B.; et al. Expected performances of the Characterising Exoplanet Satellite (CHEOPS). I. Photometric performances from ground-based calibration // *Astronomy & Astrophysics*, Volume 635, id.A22, 11 pp. 2020.
28. Carter Aarynn L., Hinkley Sasha, Bonavita Mariangela, et al. Direct imaging of sub-Jupiter mass exoplanets with James Webb Space Telescope coronagraphy // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 501, Issue 2, pp.1999-2016, 2021
29. Tsai Shang-Min, Innes Hamish, et al. Inferring Shallow Surfaces on Sub-Neptune Exoplanets with JWST // *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 922, Issue 2, id.L27, 11 pp., 2021
30. Kosiarek Molly R., Crossfield Ian J. M., Hardegree-Ullman Kevin K., et al. Bright Opportunities for Atmospheric Characterization of Small Planets: Masses and Radii of K2-3 b, c, and d and GJ3470 b from Radial Velocity Measurements and Spitzer Transits // *The Astronomical Journal*, Volume 157, Issue 3, article id. 97, 13, 2019
31. Reid I. Neill; Cruz K. L. Meeting the Cool Neighbors. I. Nearby Stars in the NLTT Catalogue: Defining the Sample // *The Astronomical Journal*, Volume 123, Issue 5, pp. 2806-2821. 2002, table 3, <https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/J/AJ/123/2806>
32. Salim Samir; Gould Andrew. Improved Astrometry and Photometry for the Luyten Catalog. II. Faint Stars and the Revised Catalog // *The Astrophysical Journal*, Volume 582, Issue 2, pp. 1011-1031. 2003.
33. Bonfils X., Gillon M., Udry S., et al. A hot Uranus transiting the nearby M dwarf GJ3470. Detected with HARPS velocimetry. Captured in transit with TRAPPIST photometry // *Astronomy & Astrophysics*, 546, A27. 2012.
34. Kosiarek Molly R.; Crossfield Ian J. M.; et al. Bright Opportunities for Atmospheric Characterization of Small Planets: Masses and Radii of K2-3 b, c, and d and GJ3470 b from Radial Velocity Measurements and Spitzer Transits // *The Astronomical Journal*, Volume 157, Issue 3, article id. 97, 13, 2019
35. V. Nascimbeni , G. Piotto et al. The blue sky of GJ3470b: the atmosphere of a low-mass planet unveiled by ground-based photometry// *Astronomy & Astrophysics*, v.559, pp.8, 2013.
36. Scott Phillip; Walter Bradley; et al. GJ 3470 c: A Saturn-like Exoplanet Candidate in the Habitable Zone of GJ 3470 // [arXiv:2007.07373](https://arxiv.org/abs/2007.07373), 2020