

**ASTRONOMIYA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI PhD.02/20.12.2019.FM.15.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

ASTRONOMIYA INSTITUTI

MIRZAQULOV DOVRONBEK OMATJONOVICH

**YAQIN GALAKTIKALARDAGI O'TAYANGI YULDUZLAR
CHAQNASHLARINING MONITORING TADQIQOTLARI**

01.03.01 – Astronomiya

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Тошкент - 2023

**Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori
(PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Content of the dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on
physical and mathematical sciences**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
физико-математическим наукам УДК 524.35**

Mirzaqulov Dovronbek Omatjonovich

Yaqin galaktikalardagi o'tayangi yulduzlar chaqnashlarining monitoring
tadqiqotlari..... 3

Мирзакулов Довронбек Оматжонович

Мониторинговые исследования вспышек сверхновых звезд в
близлежащих галактиках..... 21

Mirzaqulov Dovronbek Omatjonovich

Monitoring studies of supernova explosions in nearby galaxies 39

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 43

**ASTRONOMIYA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI PhD.02/20.12.2019.FM.15.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

ASTRONOMIYA INSTITUTI

MIRZAQULOV DOVRONBEK OMATJONOVICH

**YAQIN GALAKTIKALARDAGI O'TAYANGI YULDUZLAR
CHAQNASHLARINING MONITORING TADQIQOTLARI**

01.03.01 – Astronomiya

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Тошкент - 2023

Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.1.PhD/FM844 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya institutida bajarilgan.
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.astrin.uz) va "Ziyonet" axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Egamberdiyev Shuhrat Abdumannapovich,
fizika-matematika fanlari doktori, akademik

Rasmiy opponentlar:

Askar Baxtiyarovich Abdikamalov,
fizika-matematika fanlari doktori

Dmitriy Yurievich Tsvetkov,
fizika-matematika fanlari nomzodi, Shternberg davlat Astronomiya instituti (Rossiya)

Yetakchi tashkilot:

Fesenkov nomidagi Astrofizika Instituti,
Qozog'iston

Dissertatsiya himoyasi Astronomiya instituti huzuridagi PhD.02/20.12.2019.FM.15.01 raqamli Ilmiy kengashning 2023-yil 29 sen soat 14⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100052, Toshkent shahri, Astronomiya ko'chasi, Astronomiya instituti. Tel. (+99871) 235-81-02; faks (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz).

Dissertatsiya bilan Astronomiya institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (_ raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100052, Toshkent shahri, Astronomiya ko'chasi, 33-uy, O'zR FA AI. Tel. (+99871) 235-81-02).

Dissertatsiya avtoreferati 2023-yil "15" sen kuni tarqatildi.
(2023-yil "15" sen dagi 1 – raqamli reestr bayonnomasi)



D.Sh. Fazilova

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash raisi o'rinbosari, f.-m.f.d., katta ilmiy xodim

I.A. Ibragimov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash ilmiy kotibi f.-m.f.n., katta ilmiy xodim

A.B. Abdikamalov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash huzuridagi ilmiy seminar raisi
f.-m.f.d., yetakchi ilmiy xodim

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Hozirgi vaqtda o'tayangi yulduzlarning erta chaqnash fazasida kuzatilayotgan jarayonlarni o'rganish astrofizikaning eng dolzarb muammolaridan biridir. O'tayangi yulduzni o'rganish galaktikalar dinamikasi va ikkilamchi yulduz hosil bo'lish jarayonlarini tushunish uchun muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, ulardan kosmologik masofalarni aniqlashda standart mayoq sifatida foydalanish mumkin. O'tayangi yulduzlarni o'rganish orqali Olamning kengayishi va qorong'i energiya mavjudligi to'g'risidagi tushunchalarni yanada aniq baholash imkonini beradi (Riess va boshq., 1998; Perlmutter va boshq., 1999). Shu nuqtai nazardan qaraganda, o'tayangi yulduzlarning yaxshi astrofizikaga ega bo'lgan va yuqori sifatli monitoring kuzatuvlarini o'tkazish vazifasi, shuningdek, kuzatuv ma'lumotlarini tahlil qilishda zamonaviy usullarni ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

Hozirgi vaqtda dunyoda Supernova Cosmology Project, Sloan Supernova Survey (SSS), ROTSE (Supernova Verification Project), Palomar Transient Factory (PTF), Pan-Starrs kabi bir nechta o'tayangi yulduzlarni o'rganish loyihalari mavjud bo'lib ularda bir necha yuzlab o'tayangi yulduzlar kashf etilmoqda. 2024 yilda ishga tushishi kutilayotgan LSST loyihasi bu ochilishlar sonining ortishiga xizmat qilishi kutilmoqda. Bunday sondagi ob'yektlarni kuzatuvlar tashkil etish asosida ulardagi fizik jarayonlarni o'ranish uchun doimiy monitoring qilish talab etiladi. Uzlaksiz kuzatuvlar olib borishda bir nechta observatoriyalar va teleskoplar ishini tashkil etish va optimallashtirish dasturini yaratish, turli observatoriyalarda olingan katta hajmdagi CCD ma'lumotlarini standartlashtirish, ma'lumotlarni tahlil qilishda zamonaviy usullarni qo'llash zarur.

O'zbekistonda ko'p jihatdan o'tayangi yulduzlarning uzoq muddatli kuzatish uchun asos bo'ladigan va shu orqali astrofizikaning dolzarb muammolaridan biri koinot kengayishi, yulduzlar payo bo'lishi va evolyutsiyasini o'rganish sohasidagi fundamental tadqiqotlarga katta e'tibor qaratilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 29.10.2020 yildagi PF-6097-son qarori bilan ilm-fanning istiqbolli va yangi yo'nalishlarini shu jumladan astronomiya fanining ilmiy-tadqiqot ishlarini jadallashtirish va mamlakatimizning xalqaro reytinglarda o'rnini mustahkamlash, dunyoning yetakchi ilmiy dargohlari bilan hamkorlik o'rnatish, shu orqali O'zbekistonning ilmiy salohiyatini rivojlantirish vazifasi belgilangan. O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya instituti Maydanak astronomik observatoriyasi (MAO) Yevrosiyo qit'asining o'rtasida joylashgan noyob astrofizik va yaxshi joylashuvga ega. Respublikamizda fundamental tadqiqotlarga e'tibor va MAO ning joylashuvi tufayli Xitoy, Koreya, Yaponiya, Italiya, AQSH kabi mamlakatlar va boshqa astronomik markazlar bilan hamkorlikda turli xil astronomik tadqiqotlar va xalqaro loyihalarni amalga oshirish imkonini beradi. Jumladan, ushbu tadqiqot ishi ham dunyoning yetakchi ilmiy darohlari Seul milliy universiteti va Tsinghua Universiteti bilan hamkorlikda olib borilgan izlanishlar natijasi hisoblanadi.

Mazkur ilmiy-tadqiqot ishi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi № PF-4947-sonli "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish

bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida" farmoni, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-martdagi PP-5032-sonli "Fizika sohasida ta'lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida", hamda ushbu sohada qabul qilingan boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda berilgan vazifalarni amalga oshirishda muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot ishi fan va texnologiyalarni rivojlanishining II-"Energetika, energiya va resurs tejamkorligi" ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Hozirgi vaqtda bir qator chet ellik, yevropalik, osiyolik va amerikalik olimlarning tadqiqot guruhlar, jumladan AQShning Kaliforniya texnologiyalari universitetidan A.Filippenko, Rossiyaning Moskva davlat universiteti qoshidagi P.K.Sternberg davlat astronomik institutidan, D. Yu.Tsvetkov va boshqalar, Xitoyning Tsingxua universitetidan Wang Xiaofeng, koreyaning Seul milliy universitetidan Myunshin Im, angliyaning Birmingem universitetidan Mett Nikol, Sidney universitetidan J. R. Kallingem va boshqalar o'ta yangi yulduzlarni kuzatish, turli xil tadqiqotlarni tashkil etish va nazariy tadqiqotlar ustida katta hajmdagi ishlarni amalga oshirdilar. Ammo bu tadqiqot ishi bizning mamlakatimizda bu astronomik soha bo'yicha birinchi dissertatsiya ishi hisoblanadi.

Hozirda o'tayangi yulduzning o'zi ham, ularning chaqnashdan oldingi (nasl-nasab) yulduzlarni ham o'rganishda nazariy va eksperimental tadqiqotlar amalga oshirilmoqda. Ushbu tadqiqotlar natijasida, o'tayangi yulduz portlashlarini nazariy jihatdan bir necha yo'llar bilan tasvirlash mumkinligi aniqlandi (Zhu va boshq., 2016). Ammo ta'kidlash kerakki, o'tayangi yulduz sifatida portlaydigan yirik yulduzlarning xossalari o'rganilganlik darajasi pastligicha qolmoqda (Langer N 2012; Smartt S J 2015; Antoniadis va boshq. 2020; Soker N. 2023).

ZAQ (Zaryadli Aloqa Qurilmasi) qabul qiluvchilarni astronomiyada keng qo'llanishining boshlanishi kuzatuv materiallarining miqdori va sifatini sezilarli darajada oshirishga imkon yaratdi. Zamonaviy uskunalar ilgari olib bo'lmaydigan ob'yektlar uchun spektrogrammalarni olish, spektral chiziqlarning intensivligi va kengligini aniqroq aniqlash, shuningdek, zaif chiziqlarni qayd qilish imkonini yaratish bilan birgalikda juda katta hajmda ma'lumotlar bazasini shakllantirib, ma'lumotlar bazasini tahlil va talqin qilish muammosini yuzaga keltirmoqda.

O'tayangi yulduzlarning chaqnashidan hosil bo'lgan portlashdan keyingi nurlanish oqimlarini qayd qilish va zarba to'liqini yulduzning sirt qatlamlariga yetib kelganidan keyingi dastlabki daqiqalaridan to bir necha soat o'tgungacha bo'lgan elektromagnit nurlanish va ularning qizdirishi "ota" yulduz va undagi o'tayangi yulduz bo'lishdan oldingi bosqichda sodir bo'ladigan jarayonlar haqida muhim ma'lumot beradi (Falk, S. W. & Arnett, W. D., 1977; Ensmann, L. & Burrows, A., 1992; Matzner, C. D. & McKee, C. F., 1999; Tominaga, N. va boshq., 2011, Leung va boshq., 2021; Subrayan va boshq., 2023). Biroq, bugungi kunga qadar hech kim o'tayangi yulduz portlashning ushbu qisqa boshlang'ich bosqichidagi "birinchi nurini" optik diapazonda ko'rishga va qayd etishishga muvaffaq bo'lmadi (Morokuma va boshq. 2014; Förster, F. va boshq., 2016; Tanaka, M. va

boshq., 2016; Piro, Antoni va boshq., 2021; Matsumoto, T. & Metzger, B. 2022.). Ushbu muammoni o'rganish tadqiqot ishining asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi.

Bundan tashqari, kashf etilgan o'tayangi yulduzlar soni yildan-yilga oshib borayotganiga qaramay, bolometrik yorqinlik egri chiziqlari statistikasi hali jarayonning umumiy qonunlarini aniqlash uchun yetarli emas, masalan, o'tayangi yulduzning batafsil tasnifi uchun (Gronow va boshq. 2021; Burhanudin&Maund, 2023; Vinkó va boshq., 2023). Shuning uchun o'tayangi yulduzlarning bir nechta diapazonlarda kuzatuvlari yuqoridagi muammolarni o'rganishning asosi bo'lib xizmat qiladi.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi.

Dissertatsiya ishi O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya institutining VA-FA-F-2-007 "Galaktikalar va ularning to'dalarining fizik, dinamik va linzalanish xossalarini ko'p rangli kuzatuvlar asosida o'rganish"; F.4-18 "o'tayangi yulduzlarni yaqin galaktikalarning monitoring kuzatuvlari usulida tadqiq etish" ilmiy loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi xalqaro IMSNG dasturi doirasida Maydanak astronomik observatoriyasi va dasturning boshqa observatoriyalari teleskoplarida olingan kuzatuv ma'lumotlari asosida yaqin galaktikalarda sodir bo'layotgan o'tayangi yulduz portlashlarini o'rganishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

Maydanak observatoriyasida tanlangan yaqin galaktikalarning ko'p rangli fotometrik kuzatishlarini olib borish.

Kuzatilgan obyektlarning faol darajasidagi o'zgarishlarni monitoringi uchun kuzatuvlarning tezkor usullarini ishlab chiqish.

Yaqin galaktikalardagi o'tayangi yulduz portlashlarining kuzatuv ma'lumotlari ko'p rangli (UBVRI) bankini (katalog, ma'lumotlar bazasi) yaratish.

Olingan fotometrik ma'lumotlarni qayta ishlash, tahlil va talqin qilish.

Tadqiqot obyekti tanlangan yaqin galaktikalarda paydo bo'lgan o'tayangi yulduzlar hisoblanadi.

Tadqiqot predmeti - yorqinlik egri chiziqlarida namoyon bo'ladigan o'tayangi yulduzdagi fizik jarayonlar, shuningdek, spektri asosida o'rganiladigan o'tayangi yulduzning kimyoviy tarkibi.

Tadqiqot usullari. O'tayangi yulduzning kuzatishlari; yuqori vaqt aniqligiga ega astronomik ko'p rangli ZAQ tasvirlarga umume'tirof etilgan usullar asosida ishlov berish; raqamli astronomik ZAQ tasvirlar asosida fotometrik o'lchash usullari; olingan fotometrik ma'lumotlarning tahlili va olingan natijalarni solishtirish usullari.

Tadqiqot natijalarining ishonchiligi kuzatuv, kuzatuv ma'lumotlarga ishlov berish va tahlil qilishning zamonaviy tasdiqlangan usullarini qo'llash bilan, shuningdek IMSNG dasturining boshqa observatoriyalarida kuzatuvlar natijalari bilan taqqoslanganligi bilan asoslangan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagicha:

Maydanak observatoriyasida yaqin galaktikalarni ZAQ qabul qiluvchilar yordamida kuzatish uslubi ishlab chiqilgan;

Birinchi marta Maydanak observatoriyasida o'tayangi yulduzlarning intensiv ko'p rangli (UBVRI) kuzatuvlari o'tkazildi va ularning fotometrik ravshanlik egri chiziqlari chizilgan;

Ilk bor NGC3938 galaktikasida SN 2017ein o'tayangi yulduz portlashi Maydanak observatoriyasida qayd etilgan;

SN 2017eaw, SN 2017ein, AT 2018cow, SN2017erp, SN 2021hpr, SN 2019ein o'tayangi yulduzlarining fizik parametrlari: nikel massasi, qobiq radiusi, yulduzsimon qobiq, tashlanma (ejecta) massasi, absolyut yulduz kattaligi va rang ko'rsatkichi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari: o'tayangi yulduzning fizik parametrlarining olingan qiymatlari ularning nazariy modellarini takomillashtirish uchun qo'llaniladi. Shuningdek, kuzatuvning ishlab chiqilgan va qo'llanilayotgan usullari, fotometriya, yorqinlik variatsiyalarini o'rganish usullari boshqa o'tayangi yulduzlarni o'rganish uchun poydevor bo'lib xizmat qiladi. Bundan tashqari, dissertatsiyada olingan natijalarni galaktikadan tashqi astronomiya bo'yicha universitetning maxsus kurslari dasturlariga kiritish mumkin.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Ishning yangiligi 1,5 meterli AZT-22 teleskopida olib borilgan kuzatishlar asosida yaqin galaktikalardagi o'tayangi yulduzlar chaqnashlarining o'ziga xos ma'lumotlar bazasi yaratildi. Bir necha oy davomidagi kuzatuvlar asosida qurilgan ko'p rangli ravshanlik egri chiziqlari o'tayangi yulduzda sodir bo'layotgan fizik hodisalarni o'rganish uchun asos bo'ladi. Shuningdek, dissertatsiyaning ilmiy va amaliy ahamiyati olingan kuzatuv qatorlari bilan bevosita bog'liq bo'lgani holda kelajakda shu va shunga o'xshash ob'yektlarni o'rganishda qo'llaniladi.

Tadqiqot natijalarining amalda qo'llanishi. Dissertatsiyada ishlab chiqilgan tahlil usullari o'xshash ob'ektlarni o'rganishda boshqa mualliflar tomonidan qo'llanilgan. Buni Web of Sciences, SCOPUS ma'lumotlar bazasiga kiritilgan va Google scholar ro'yxatiga kiritilgan quyidagi xalqaro jurnallardagi nashrlarimizga havolalar tasdiqlaydi:

SN 2017ein o'tayangi yulduzinining progenitor yulduzi, fizik parametrlarini o'rganish natijalarimiz asosida tayyorlangan - Observations of SN 2017ein reveal shock breakout emission and a massive progenitor star for a type Ic supernova // The Astrophysical Journal 871 (2), 176 maqolamizga – 34 ta iqtibos keltirilgan;

AT 2018cow ob'yektining tez o'zgarishi va bu orqali aniqlangan fizik parametrlar keltirilgan - The Peculiar Transient AT2018cow: A Possible Origin of a Type Ibn/IIn Supernova // The Astrophysical Journal 910 (1), 42 – maqolamizga (Metzger ApJ 2022, Cai va boshq. Universe 2022, Perley va boshq. MNRAS 2021 va boshqalarning) 30 ta iqtibos;

SN2017erp o'tayangi yulduzi qizarishini o'rganish natijalarimizga asoslangan - Red and reddened: ultraviolet through near-infrared observations of Type Ia supernova 2017erp // The Astrophysical Journal 877 (2), 152 – maqolamizga (N Soker, New Astronomy Reviews 2019, JP Blakeslee va boshqalar ApJ 2021, Thorp&Mandel MNRAS 2022 va boshqalarning) 30 ta iqtibos keltirilgan;

SN 2018hti kuzatuv malumotlaridan aniqlangan tashlanma massasi, rang ko'rsatkichlari va nikel massasi natijalari asosidagi - SN 2018hti: a nearby

superluminous supernova discovered in a metal-poor galaxy //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 497 (1), 318-335 – maqolamizga (L Sun, L Xiao, G Li, MNRAS, 2022, CP Gutiérrez va boshqalar. MNRAS 2022, S Gomez va boshqalar ApJ 2022 va boshqalarning maqolalarida) - 19 ta iqtibos;

Xorijiy mualliflar nashrlarida iqtibos keltirilgan ishlar soni 200 dan ortiqni tashkil etadi.

Tadqiqot natijalarini approbatsiya qilish. Tadqiqot natijalari O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya instituti seminarlarida, shuningdek, 10 ta xalqaro va milliy konferensiyalarda muhokama qilindi.

Tadqiqot natijalarini e‘lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi doirasida jami 17 ta ilmiy ish nashr qilingan, shulardan O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining asosiy ilmiy natijalarni chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 10 ta maqola, uning 9 tasi yuqori reyting va impakt faktorga ega xalqaro ilmiy jurnallarda chop etildi.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to‘rtta bob, xulosa va adabiyotlar ro‘yxatidan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 126 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning **kirish** qismida ish mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan, ishning maqsad va vazifalari tavsiflangan, natijalarining yangiligi va ishonchliligi, tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati qayd etilgan.

Birinchi bobda o‘ta yangi yulduzlarni o‘rganish tarixi, ularning kuzatuvlari statistikasi hamda “Yaqin galaktikalarda o‘ta yangi yulduzlar chaqnashining intensiv kuzatish” (IMSNG) dasturining tavsifi berilgan. Obyektlarni tanlash mezonlari va Maydanak observatoriyasida ishlatiladigan asbob-uskunalar, AZT-22 teleskopi va ishlatilgan ZAQ qabul qiluvchilarning qisqacha tavsiflari keltirilgan. O‘tayangi yulduzlarning tasnifi va modellari qisqacha sharhi bayon qilingan. IMSNG dasturi doirasida monitoring uchun galaktikalarni tanlashds quyidagi mezonlar qabul qilingan:

1. $M_{\text{NUV}} < -18,4$ AB mag;
2. Masofa $D < 50$ Mpc;
3. Galaktik kenglik $b > 20$ daraja.

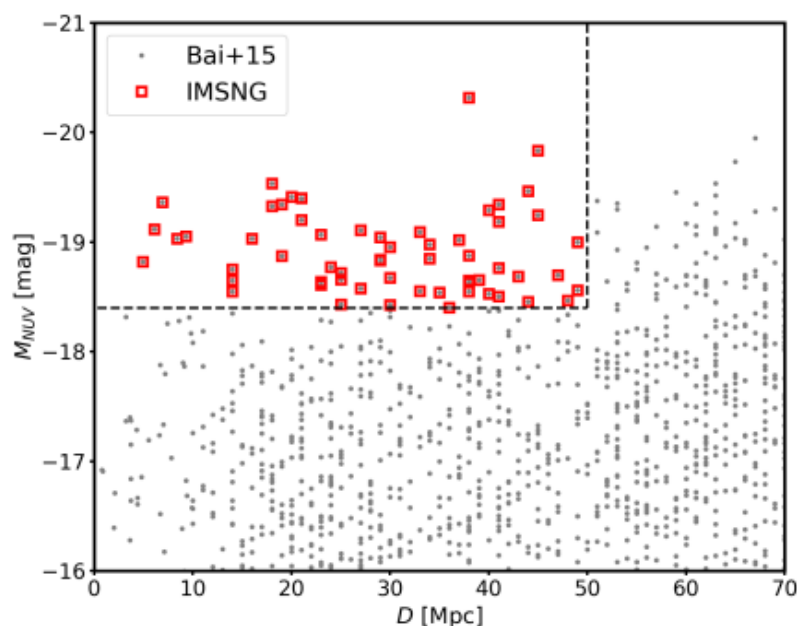
Birinchi mezon yulduz hosil bo‘lish tezligi yuqori bo‘lgan galaktikalarda o‘tayangi yulduzlar (O‘Y) ko‘proq tarqalganligi va yaqin ultrabinafsha diapazonidagi galaktikaning yorqinligi – NUV esa yulduz hosil bo‘lish tezligining yaxshi ko‘rsatkichi ekanligi bilan belgilanadi. $M_{\text{NUV}} < -18,4$ AB bo‘lgan galaktikalarni tanlash o‘rtacha o‘tayangi yulduz chastotasi yiliga taxminan 0,06 ta o‘tayangi yulduz portlashini kuzatishga imkon beradi, bu o‘rtacha o‘tayangi yulduz portlash chastotasidan qariyb olti barobar yuqori. Ya’ni zamonaviy statistika o‘rtacha o‘tayangi yulduz paydo bo‘lish chastotasi yuz yilda 1 ta o‘tayangi yulduzga to‘g‘ri keladi. Bizning mezonlar bo‘yicha tanlab olingan galaktikalarda bu ko‘rsatkich yuz yilda 6 ta o‘tayangi yulduzlarning kuzatish imkonini beradi. 2014-2022- yillardagi IMSNG loyihasi doirasida kuzatilgan o‘tayangi yulduzlar

statistikasi yiliga 0.054 tani tashkil etmoqda, bu biz taxmin qilgan (yiliga 0.06 ta) ko'rsatgichga juda yaqin.

Ikkinchi mezon - 50 Mpc dan yaqinroq D masofada joylashgan galaktikalarni tanlash, bu kichik nasl-nasab yulduzlarining portlashlari natijasida kelib chiqqan o'tayangi yulduzlarni aniqlash imkonini beradi.

Uchunchi mezon sifatifa Galaktika kenglamasi $b > 20$ gradusdan katta bo'lgan galaktikalarni tanlash bo'lib, bu bizning galaktikamiz markazining yuqori yorqinligi halal berishi mumkin bo'lgan sohasidan qochish maqsadida qabul qilingan.

Ushbu mezonlarga asoslanib, UV atlasining Galaxy Evolution Explorer (GALEX, Gil de Paz va boshq. (2007)) va Bai va boshq. (2015)) tomonidan o'rganilgan galaktikalardan IMSNG dasturi doirasida yaqin galaktikalarni monitoring qilish uchun 60 ta galaktika tanlab olingan (1-rasm).



1-rasm. Bai va boshqalar tomonidan o'rganilgan galaktikalar. Uzuq chiziqli to'rtburchak ichidagi kvadratlar bilan IMSNG dasturi kriteriylari bilan tanlab olingan galaktikalar belgilangan.

Ikkinchi bob o'tayangi yulduzlarning fotometrik va spektral kuzatuv ma'lumotlariga ishlov berish usullari tavsifiga bag'ishlangan. Bunda o'tayangi yulduzlarning ZAQ tasvirlariga ishlov berishning asosiy bosqichlari berilgan: ma'lumotlarni kalibrlash, NYF (Nuqtaning yoyilish funksiyasi) fotometriya orqali ravshanlik egri chiziqlarini qurish keltirilgan.

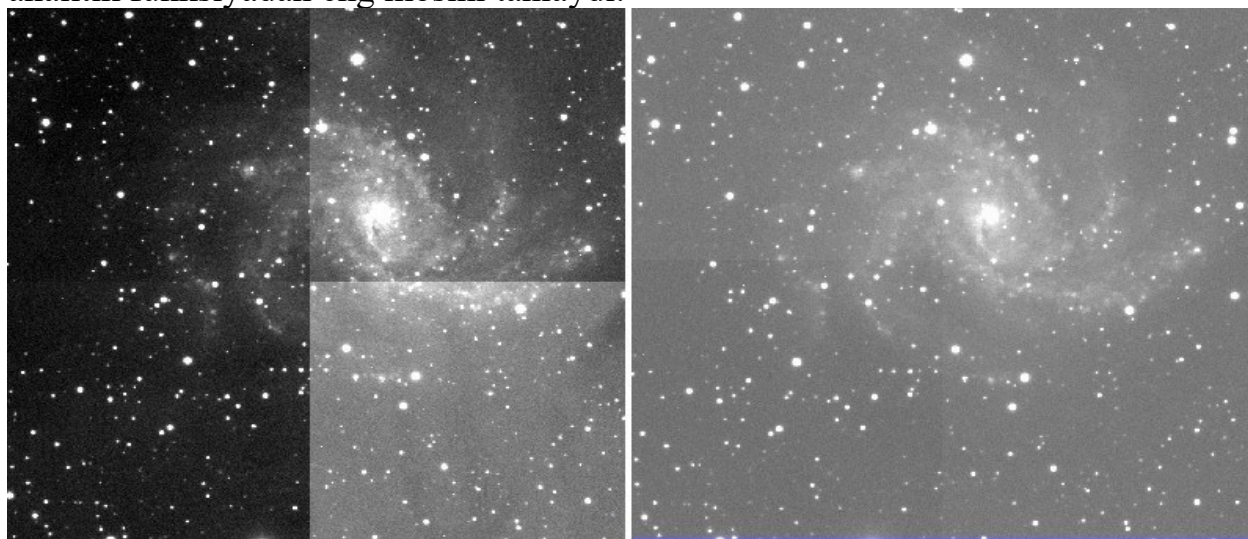
ZAQ tasvirlarga birlamchi ishlov berish astronomik raqamli tasvirlar bilan ishlashning muhim qismlaridan biridir. Kuzatuvlar davomida olingan astronomik ZAQ tasvirlarga birlamchi ishlov berish quyidagi standart bosqichlarni o'z ichiga oladi:

- bays tuzatish - ingliz tilidagi adabiyotlarda "bias" deb ataladi va tasvir nolinci sathini siljishini hisobga olish uchun foydalaniladi;
- qorong'ulik tokiga tuzatish, ingliz tilidagi adabiyotlarda "dark" - dark deb ataladi. Dark tasvir ekspozitsiyasi o'rganilayotgan ob'yektlar kuzatilgan

ekspozitsiyalari bir xil olinadi va ZAQ da hosil bo‘ladigan qo‘shimcha shovqinlarni tozalash uchun foydalaniladi.

- ZAQ kameraning notekis sezgirligini (“flat fielding” - flat) tuzatish. Flat tasvirlarni olishdagi yorug‘lik filtrlari o‘rganilayotgan obyektlarni kuzatishda foydalanilgan yorug‘lik filtrlari bilan aynan bir xil bo‘lishi talab etiladi.

Birlamchi ishlov berishdan so‘ng (2-rasm), NYF fotometriya IRAF/DIGIPHOT/DAOPHOT paketi yordamida amalga oshirildi. Nuqtaning yoyilish funksiyasi (ing.: PSF) - atmosfera hodisalari (masalan, turbulentlik) tufayli diffraksiya bilan cheklangan Eiri disk o‘rniga keng Gauss profilini oladigan nuqta manbai bilan bog‘liq berilgan optik tizimning tuzatish funktsiyasi. O‘rganilayotgan ob‘yektning ravshanlik profili hajmli integral bilan proportsionaldir. Nuqtaning yoyilish funksiyasi har bir tasvirda ko‘rinadigan 20-50 tacha yorqin yulduz profillarini o‘rtachasi hisoblash yo‘li bilan aniqlanadi, buning uchun IRAF 6 ta analitik funktsiyadan eng mosini tanlaydi.



2-rasm. Maidanak observatoriyasining Azt-22 teleskopida olingan NGC6946 galaktikasining birlamchi ishlov berilishidan oldingi va keyingi tasviri.

Barcha spektr tasvirlari ham bias, dark, flat tuzatishlarini va kosmik nurlarni olib tashlashni o‘z ichiga olgan standart IRAF bosqichlari yordamida qayta ishlandi. Kuzatish kechasida olingan Fe/Ar va Fe/Ne yoy lampalar spektrlari –spektrlarning to‘lqin uzunligini kalibrlash uchun, o‘tayangi yulduz bilan bir kechada va bir xil havo massalarida kuzatilgan standart yulduzlar esa spektral oqimni kalibrlash uchun ishlatilgan. Spektrlar o‘rtacha yutilish egri chiziqlari yordamida oqimni kalibrlash vaqtida doimiy atmosfera yutilishi uchun qo‘shimcha tuzatildi. Olingan spektrda ma‘lumotlarni qayta ishlash artefakti bo‘lgan bir nechta tor yutilish chiziqlari mavjud. Ma‘lumotlarga ishlov berish dasturiy ta‘minoti eng past oqim darajasi bilan birlashtirib fonni aniqlaganligi sababli, fon albatta galaktikaning ba‘zi xususiyatlarini o‘z ichiga oladi. Shunday qilib, spektrlar galaktikaning boshqa zaif qismlaridan emissiya chiziqlarini olib tashlash natijasida yuzaga keladigan ba‘zi noto‘g‘ri yutilish chiziqlarini ko‘rsatadi. Ushbu soxta chiziqlar qo‘lda spektrdan olib tashlanadi va tozalanadi.

Uchinchi bob to‘rt paragrafdan iborat bo‘lib, I tipdagi o‘tayangi yulduzlarni o‘rganish natijalariga bag‘ishlangan:

“ **o‘tayangi yulduz SN 2019ein: Fotometrik va spektral kuzatuvlari, hamda SN 2019ein kuzatuv natijalarini tahlili**” birinchi va ikkinchi paragraflarda SN 2019ein kuzatuvlari va tahlillari natijalari, ravshanlik egri chiziqlari va SN 2019einning fotometrik xususiyatlari keltirilgan. SN 2019ein ning baholangan fizik parametrlari muhokama qilingan.

SN 2019einning ko‘p rangli ravshanlik egri chiziqlari 3-rasmda ko‘rsatilgan va *B* bandidagi maksimal ravshanlikdan ikki hafta oldingi va keyingi umumiy 80 kundan ko‘proq vaqtdagi fazasini qamrab olgan. Yorqinlik egri chizig‘ining umumiy shakli normal SN Ia tipiga mos bo‘lib, I va R diapazonlarida ikkinchi darajali cho‘qqi bilan tavsiflanadi.

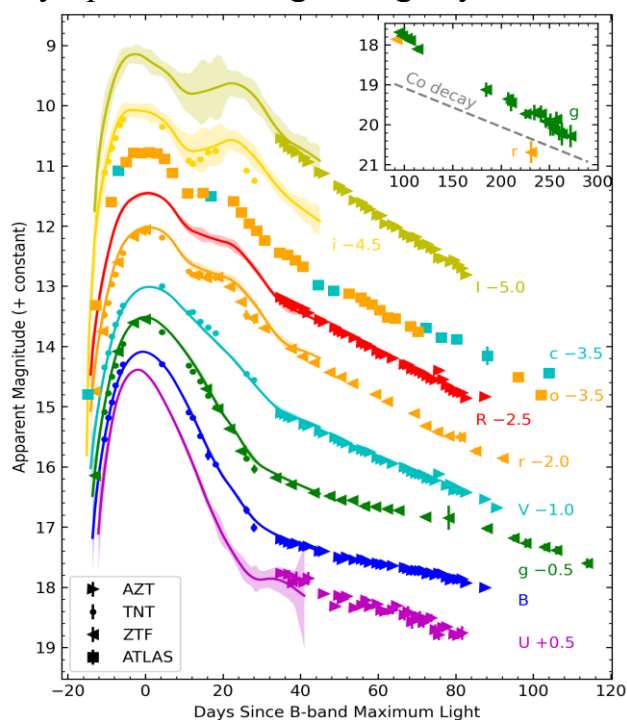
SN 2019ein ning *UBVg* va *RrIi* filtrlarda olingan ravshanlik egri chiziqlarini qiyosiy tahlili amalga oshirildi va ba‘zi yaxshi kuzatilgan Ia tipidagi o‘tayangi yulduzlar xususiyatlari taqqoslandi. Bunda taqqoslash uchun uchta yuqori tezlikdagi (HV) o‘tayangi yulduzlar: 2001br ($\Delta m_{15}(B) = 1.35 \pm 0.05$ yulduz kattaligida), SN 2004ef ($\Delta m_{15}(B) = 1.38 \pm 0.05$ yulduz kattaligida), SN 2005am ($\Delta m_{15}(B) = 1.45 \pm 0.07$ yulduz kattaligida) va ravshanligining maksimumi yaqinida xuddi shunday tezlikli HV – ob‘yektlar – SN 2002bo ($\Delta m_{15}(B) = 1.13$ yulduz kattaligida) va SN 2009ig ($\Delta m_{15}(B) = 0.89$ yulduz kattaligida) tanlab olindi. Shuningdek, normal tezlikli (NV – Normal velocity) Ia tipidagi ikkita, ya’ni SN 2004eo ($\Delta m_{15}(B) = 1.46$ yulduz kattaligida) va SN 2011f ($\Delta m_{15}(B) = 1.18$ yulduz kattaligida) o‘tayangi yulduzlari ham taqqoslashlarga kiritilgan.

^{56}Ni ning massasini va bolometrik yorqinlik egri chizig‘ini olish uchun biz Li va boshqalar (2019) tomonidan taklif qilingan bosqichlar asosida energiyaning spektral taqsimotini va o‘z navbatida *UuBVgRrIi* –filtrlardagi fotometrik ma’lumotlari asosida bolometrik yorqinlik egri chizig‘ini olish uchun SNooPy2 dasturiy taminotidan foydalandik. Ko‘p rangli fotometriyadan foydalangan holda SN 2019ein uchun maksimal bolometrik yorqinlik $L \approx 7 \times 10^{42}$ erg/s ekanligi aniqlandi. Yorqinlikni ko‘tarilish vaqtini $t_{\text{rise}} = 16.0$ kun deb olib, portlash paytida sintezlangan ^{56}Ni massasini eng mos Arnett modeli asosida $M_{\text{Ni}} = (0.27 \pm 0.04) M_{\odot}$ va turli massali WD (oq mitti, keyingi o‘rinlarda WD)larni ikki marta detonatsiya modeli egri chiziqlari bilan baholadik.

SN 2019ein o‘tayangi yulduzining *B* filtrdagi absolyut yulduz kattaligi $M(B) = -18.71 \pm 0.15$ ga, maksimum yorqinlikdan pasayish tezligi $\Delta m_{15}(B) = 1.35 \pm 0.01$ teng ekanligi aniqlandi. Erta bosqich yorug‘lik egri chizig‘iga mos kelish uchun “olovli shar” modelidan foydalanib portlash vaqti $t_0 = 58603.22$ MJD ga teng deb baholandi va u maksimal yorqinlikka erishish vaqti ~ 16.0 kun bo‘lishini ko‘rsatdi.

SN 2019ein uchun energiya tahlili sintezlangan ^{56}Ni massasi va tashlash (ejecta) tezligi asosida amalga oshirildi. Bu uning ajdodi WD massasiga qat’iy cheklovlar qo‘ydi. Taxmin qilingan yuqori chegara ($M \leq 1.22 M_{\odot}$) Chandrasekhar massa chegarasidan ancha past, hatto tashlash tezligini ($v_{\text{ej}} = 10500$ km/s) yorug‘lik maksimumidan bir necha hafta o‘tgach o‘lchangan Si II tezligidan ($\sim 11\,600$ km/s) ancha past bo‘lsa ham. Bizning taxminimizcha, SN 2019ein, ehtimol,

subchandrasekhar WD ning assimetrik portlashi natijasi bo'lgan va tashlanmalar (ejecta) bizga nisbatan yuqori tezlikka ega bo'lgan yo'nalishda qaralgan.



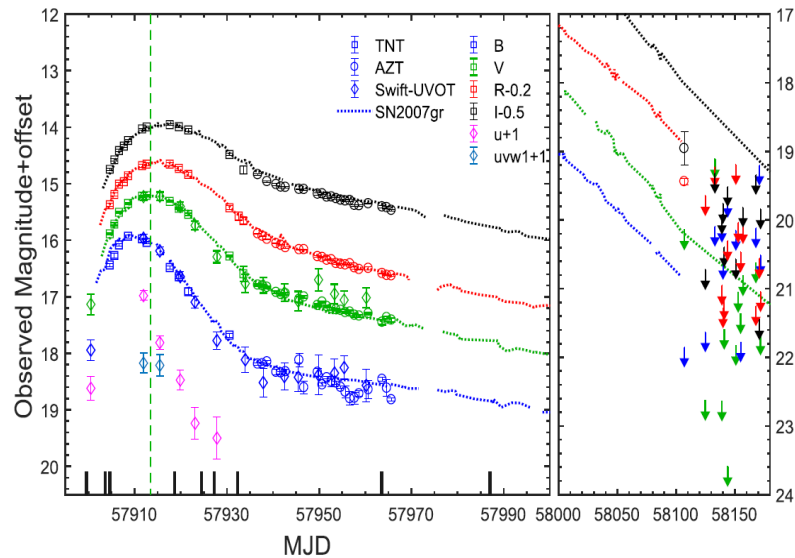
3-rasm. SN 2019ein ning barcha foydalanilgan ma'lumotlar asosidagi ravshanlik egri chiziqlari. Uzlaksiz chiziqlar SALT2 dasturi tomonidan moslashtirish natijalari. X o'qi *B* dagi maksimal yorqinlikka ega 2019-yil 16.36 may kungi nisbatan kunlar sonini ko'rsatadi.

Uchinchi va to'rtinchi paragraflarda “o'tayangi yulduz SN 2017ein: Fotometriya, spektral kuzatishlar, kuzatuv natijalari tahlili va SN 2017einining modellash natijalari taqdim etilgan. Shuningdek, o'tayangi yulduz SN 2017einining hosil qilingan bolometrik yorqinlik egri chiziqlari va fizik parametrlar baholashlari keltirilgan.

Maksimal yorqinligi atrofidagi ma'lumotlarga polinom yaqinlashuvini qo'llash orqali, B filtrdagi SN 2017einining maksimal yorqinligi $MJD=57\,909.86$ da $m_B(\text{peak})=15.91 \pm 0.04$ yulduz kattaligiga va V filtrda maksimal yorqinligi esa bundan ~ 3.6 kundan so'ng $m_V(\text{peak})=15.20 \pm 0.02$ yulduz kattaligiga teng bo'lganligi aniqlandi (4-rasm). Bu SN 2019ein o'tayangi yulduzining rang ko'rsatkichi $B_{\text{max}}-V_{\text{max}}=0.71 \pm 0.05$ yulduz kattaligiga teng ekanligini va bu odatiy SNe Ic rang ko'rsatkichi qiymatga nisbatan ancha qizilroq bo'lganini ko'rsatdi. Somon yo'li (Schlafly & Finkbeiner 2011) tufayli bir oz qizarish $E(B-V)_{\text{MW}}=0.019$ ekanligini hisobga olsak va normal SN Ic uchun maksimal yorqinlikdagi odatiy rang ko'rsatkichi $B-V=0.4$ yulduz kattaligiga (Drout va boshq. 2011) teng ekanligidan SN 2017einda kuzatilgan qizil rang ko'rsatkich ona galaktika (родительской галактики)si tufayli kuchli qizarishga uchraganligini ko'rsatadi.

Biz, shuningdek, SN 2017ein uchun B filtrda 1.33 ± 0.07 va V filtrda 0.93 ± 0.04 magnitudali maksimal yorqinlikdan keyin pasayish tezligi Δm_{15} ni ham o'lchadik. Ushbu qiymatlar 2017 yilda kuzatilgan o'tayangi yulduz SN 2007gr

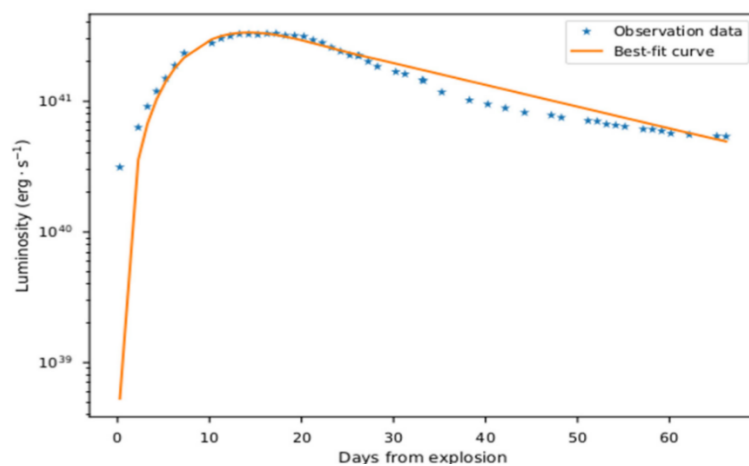
($\Delta m_{15}(B)=1.31$, Chen va boshq., 2014) uchun o'lgan qiymatlarga deyarli mos keladi.



4-rasm. SN 2017einning BVRI filtrlarda olingan ravshanlik egri chiziqlari. Vertikal uzuq-uzuq yashil chiziq V filtrdagi maksimal yorqinlikni ko'rsatadi. Shuningdek SN 2007gr yorqinlik egri chiziqlari ham keltirilgan(Chen va b. 2014).

O'tayangi yulduzning fizik parametrlari bo'yicha baholashlarni olish uchun biz fotosferik faza uchun Arnett (1982) modelidan ($t < 30$ kun) va tumanlik fazasi ($t > 60$ kun) uchun Sutherland & Wheeler modelidan (1984) foydalandik. Shunga o'xshash yondashuv SN2003jd o'tayangi yulduziga Valenti va boshq. (2008) tomonidan qo'llanilgan. Biroq, ularning ishida har bir faza uchun modellar alohida qo'llanilgan. Bizning holatda ikkala faza uchun bir vaqtning o'zida qo'llanilgan.

Arnettning taklifidan asosiy farq shundaki, energiya ajralishda ^{56}Ni ham, ^{56}Co ham hisobga olinadi va bu metod Valenti va boshqalar (2008) tomonidan taklif qilingan.



5-Rasm. SN 2017einning bolometrik yorqinlik egri chizig'i.

Ravshanlik egri chizig'ining kechki bosqichlarida (tumanlik fazasi) energiya chiqishi radioaktiv parchalanish $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ (Sutherland & Wheeler 1984) orqali amalga oshiriladi. Ni va Co ning parchalanishidan gamma nurlanishi, shuningdek, elektron-pozitron annigilyatsiyasidagi gamma nurlanishi va

pozitronlarning kinetik energiyasi hisoblanadi. Hosil bo'lgan energiya taqsimlanishi optik kuzatuvlarda olingan yorqinlik egri chiziqlarida ko'rinadi. Batafsil tushunish uchun Sutherland & Wheeler va Valenti va boshq. (2008) ilovasiga yuzlanish kerak.

Moslashtirish natijasida olingan baholarga ko'ra, SN 2017eawning $M_{Ni}=0.13M_{\odot}$, $M_{ej}=1.246 M_{\odot}$ va $E_k = 1.641 \cdot 10^{51}$ erg ga teng bo'ldi.

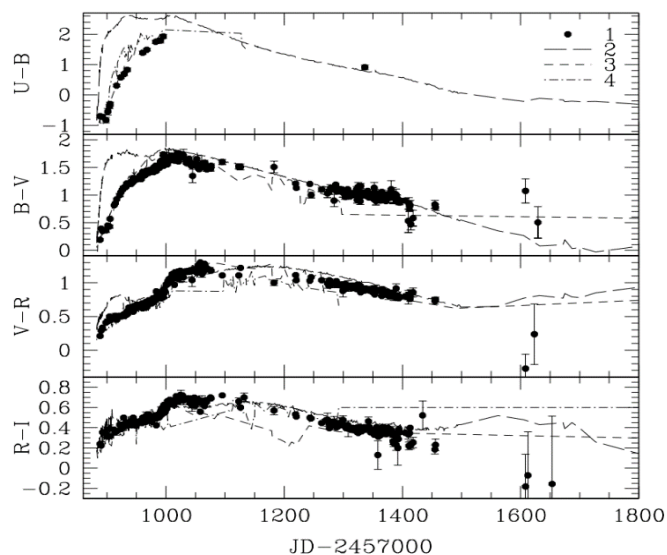
Kuzatuv ma'lumotlari bilan eng yaxshi mos keladigan bolometrik yorqinlik egri chizig'i 5-rasmda ko'rsatilgan.

“II tip o'tayangi yulduz tadqiqotlari” deb nomlangan to'rtinchi bobda kuzatuvlarimiz asosida II tip o'tayangi yulduzlarni tadqiqot natijalari keltirilgan. Bob 3 ta paragrafdan iborat:

Birinchi paragrafda NGC 6946 galaktikasida kuzatilgan **II-P tipidagi SN 2017eaw o'tayangi yulduzining kuzatuvlar asosida olingan ravshanlik egri chiziqlari** va fotometrik xususiyatlari keltirilgan.

SN 2017eaw o'tayangi yulduzining tahlili asosida kuzatuvlarning kechki bosqichlarda yorug'lik egri chizig'ining tabiati har xil ekanligi aniqlandi: SNe 1987A, 2004et, 2017eaw uchun chaqnashdan taxminan 300 kun o'tgandagi fazada yorug'lik pasayishi sezilarli tezlashishi kuzatiladi, SN 2012ew uchun esa bu ancha zaifroq. 700 kunlik fazadan keyin SNe 2004et, 2017eaw va, ehtimol, 2012aw yorqinlikning pasayish tezligida ancha keskin sekinlashuvni namoyon etdi, SN 1987A uchun esa bu vaqtda yorqinlikning pasayish tezligi o'zgarmagan. Agar energiya manbai ^{56}Co gamma-kvantlarining to'liq termalizatsiyasi bilan parchalanishi bo'lsa, yorqinlikning bunday pasayish tezligi kutilishi kerak. Chiziqli segmentning boshida, ko'rsatilgan barcha oylar uchun yorqinlikning pasayishi kutilganiga yaqin tezlik kuzatilgan. Yorqinlik pasayishining tezlashishiga qobiqdan chiqadigan gamma kvantlar ulushining ortishi sabab bo'ladi. Keskin sekinlashuv kengayuvchi qobiqning yulduz atrofidagi moddalar bilan o'zaro ta'siri bilan izohlanadi.

SN 2017eaw va bir xil uchta SN II-P larning rang egri chiziqlari qiyoslash natijalari 4-rasmda ko'rsatilgan. Tsvetkov va boshqalarning (2018) taxminlariga ko'ra, NGC 6946 galaktikasida SN 2017eaw nurining yutilishi sezalarsiz va barcha yutilish bizning Galaktikada sodir bo'ladi, shuning uchun $E(B-V) = 0.30$ bahosi berilgan. Bu taxmin Van Dik va boshqalar (2019) tomonidan tasdiqlangan, yani ular SN 2017eaw spektrida NGC6946 da paydo bo'ladigan yulduzlararo yutilish chiziqlari haqida hech qanday belgi topmadilar. Shuni ta'kidlash kerakki, 6-rasmda SN 2017eaw ning kuzatilgan ranglari yutilishlarga tuzatishsiz ko'rsatilgan. Shuningdek xuddi shu galaktikada paydo bo'lgan SN 2004et o'tayangi yulduzi uchun ham kuzatilgan ranglar keltirilgan. Solishtirish bu ikki o'tayangi yulduz uchun deyarli bir xil qizarishni tasdiqladi. SNe 1987A va 2012aw uchun rang egri chiziqlarida yutilish mos ravishda $E(B-V) = 0.16; 0.17$ olingan, hamda SN 2017eaw ning ortiqcha rangini ko'rsatish uchun siljirilgan. Dastlabki bosqichda SN 1987A rang egri chizig'i odatiy SNe II-P larning rang egri chiziqlaridan juda farq qiladi, ammo chiziqli “dum”ga yetgandan so'ng, farq kamayadi. Egri chiziqlarni taqqoslash SN 2017eaw uchun biz qabul qilgan yutilish qiymatining to'g'riligini tasdiqladi.

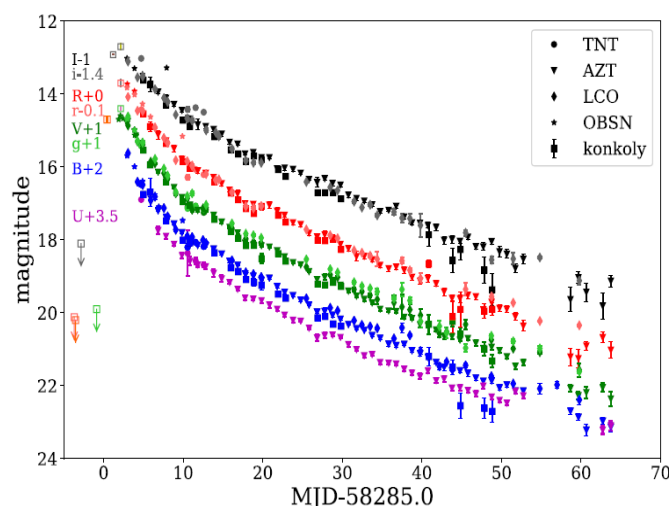


6-Rasm. SNe 2017eaw rang egri chiziqlari (1) va SNe II tipdagi 1987A (2), 2004et (3) va 2012aw (4) o‘tayangi yulduzlar rang egri chiziqlari bilan solishtirilishi.

Ikkinchi “**AT 2018cow: Ibn/II n turi o‘tayangi yulduz?**” nomli paragrafda AT 2018cowning fotometrik va spektrometrik tadqiqot natijalari keltirilgan.

Galaktikadan tashqari transient AT2018cow (ATLAS18qqn) yorqinlik egri chiziqlarining g‘ayrioddiy hatti-harakatlari va spektral evolyutsiyasi tufayli juda ko‘p e‘tiborni tortdi. Bu obyekt 16-iyun 2018-yilda ATLAS tomonidan 14.76 ± 0.10 yulduz kattaligi bilan aniqlangan (Smartt va boshq. 2018). O‘tayangi yulduz CGCG 137-068 galaktikasi ($z=0.0141$, $DL=63$ Mpc) markazidan uzoqda joylashgan. Ushbu masofa AT2018cow ochilganda I tipdagi o‘tayangi yulduz (SNe Ia) chaqnashidagi kabi yorqin chaqnash aniqlandi. Maksimal yulduz kattaligi <-20 mag bilan 3 kundan kamroq vaqt bilan yorqinlikning tez ko‘tarilishi aniqlandi. Fotosferaning o‘lchangan harorati maksimal yorqinligi yaqinida $\sim 30\,000$ K ni tashkil etdi va u ochilganidan keyin ~ 60 kun davomida $\sim 15\,000$ K yuqori haroratni saqladi (Prentice va boshq. 2018; Perley va boshq., 2019). Bu xususiyatlarning barchasi AT2018cow-ni FBOT (fastrising blue optical transients - tezkor ko‘k optik tranzient) ga kiritish mumkinligini ko‘rsatadi.

Maydanak observatoriyasi va IMSNG dasturidagi observatoriyalarning kuzatuv ma‘lumotlari asosida olingan ravshanlik egri chiziqlari 7-rasmda ko‘rsatilgan va bunda bizning ma‘lumotlarimiz umumiy ma‘lumotlarning 70 foizini tashkil etadi. Tahlillar AT2018cow VRI filtrlarda ~ 58287.0 MJD da maksimal yorqinlikka erishganini ko‘rsatadi. Kuzatuvlarda ko‘rinmagan oxirgi ma‘lumot g filtrda 58284.13 MJD da olingan (Prentice va boshq. 2018), shuning uchun AT2018cow maksimal yorqinlikka erishish vaqti 2.9 kundan kam. Agar birinchi aniqlanishi va bu ob‘yekt oxirgi ko‘rinmagan ma‘lumotlari medianasini olsak yuqori yorqinlikka erishish vaqti sifatida ko‘tarilish vaqti ~ 2.2 kun bo‘ladi. Biz AT 2018cowni portlash vaqtini $MJD=58\,284.79 \pm 0.66$ o‘rganish davomida aniqladik. Ushbu maksimal yorqinlikka ko‘tarilish vaqti SNe bilan solishtirganda juda qisqa bo‘lib, odatda bunday ko‘tarilish vaqti 10 kundan ko‘proq bo‘ladi. Maksimal yorqinlikdan so‘ng yorqinlik egri chiziqlari V, R va I filtrlarda 10 kun davomida kunlik mos ravishda 0.33, 0.27 va 0.22 yulduz kattaligi tezligida pasaydi.



7-rasm. AT 2018cowning turli teleskoplardan olingan ravshanlik egri chiziqlari.

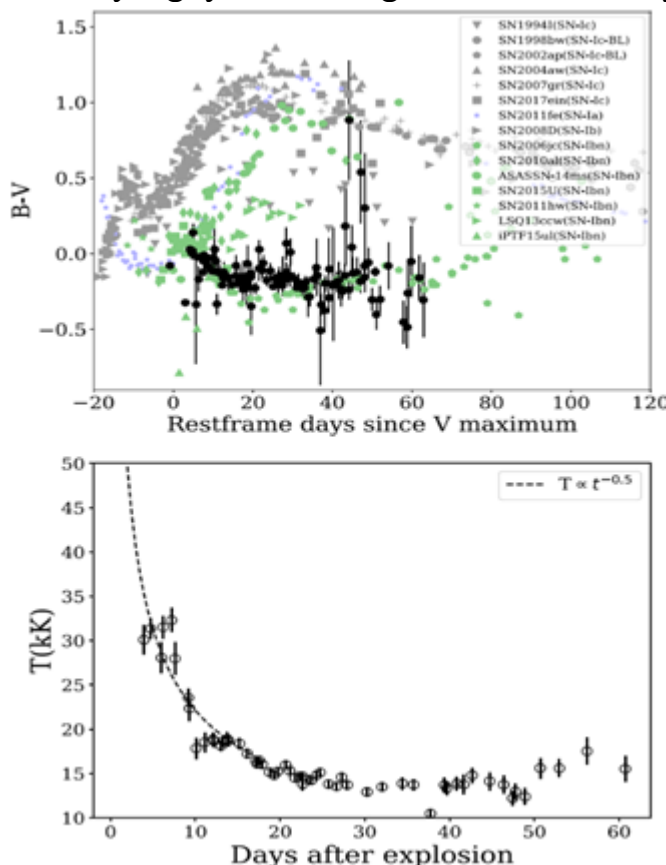
Shuni ta'kidlash kerakki, AT 2018cowda kuzatilgan yuqori yorqinlik va tez evolyutsiya o'tayangi yulduzlarning Ibn tipiga mos keladi. Bizning kuzatishlarimiz davomida AT2018cow juda ko'k rangni saqladi (ya'ni, $B-V \sim -0.1$ mag; 8-rasm). Tahlillarda AT2018cow uchun galaktik yutilishini $E(B-V)=0.08$ (Schlafly & Finkbeiner 2011) deb hisobga oldik va ona galaktikasining yutilishiga e'tibor bermaymiz. Shuningdek, Perley va boshqalar (2019) AT2018cow fotosferasining harorati maksimal yorqinlik yaqinida ~ 30 ming K ga yetishini va undan ~ 50 kun o'tgach ham ~ 14 ming K ga yetishini ko'rsatdi. Bu shu paytgacha kuzatilgan boshqa optik tranzientlarda kuzatilmagan.

AT2018cow spektrlari kashf etilgandan keyingi dastlabki ~ 10 kun ichida noaniq ko'k kontinium bilan tavsiflandi va ba'zi keng emissiya xususiyatlari keyinroq paydo bo'ldi, buni ona galaktika yutilishning ehtimoliy tasiri bilan bog'liq deb qarash mumkin. Dastlabki 10 kun ichida spektrlar 9-rasmda ko'rsatilganidek, $5000 \text{ \AA}$ atrofida keng chiziq (mintaqa) bilan tavsiflanadi. Keyinchalik, ko'plab tor va kuchli emissiya chiziqlari bilan qoplangan ko'plab keng emissiya chiziqlari paydo bo'ladi. Qizil oxirida ortiqcha oqim kuzatildi, bu, ehtimol, nisbatan kechki fazalarda chang tashlanishi bilan bog'liq. Fox & Smith (2019) taklif qilganidek, AT2018cow spektri SN Ibn va IIn kabi yulduz yaqinidagi ta'sir (CSI) alomatlarini ko'rsatishi mumkin, CSI ning tipik xususiyatlari esa H va He tor emissiya liniyalari hisoblanadi.

AT2018cow transientini o'tayangi yulduz sifatida qarash tabiiy. Fox & Smith (2019) AT2018cow va ba'zi SNe Ibn va IIn o'rtasidagi o'xshashliklarni topdi. Fikrimizcha, AT2018cow SNe Ibn va IIn lar bilan o'zaro muvofiqlik belgilarini ko'rsatsa ham uning spektral evolyutsiyasi SNe Ibn va IIn evolyutsiyasidan juda farq qiladi. AT2018cow barcha fazalarda zaifroq chiziqlarga ega bo'lganligi sababli, uning spektral xarakteristikalar boshqa o'zaro ta'sir qiluvchi o'tayangi yulduzlardan farq qiladi.

AT2018cow ning keng emissiya xususiyatlari oddiy SNe II spektral xususiyatlaridan farq qiladi. Yutish xususiyatlarining yo'qligi AT2018cow ni SNe IIP/IIL dan ko'ra SNe IIn/Ibn ga o'xshash bo'lishi mumkinligini anglatadi, biroq

AT2018cow ning keng emissiya komponentasining tezligi ($v \sim 10000$ km/s) an'anaviy SNe Ibn/IIn o'tayangi yulduzlardagi tezlikdan ancha yuqori.

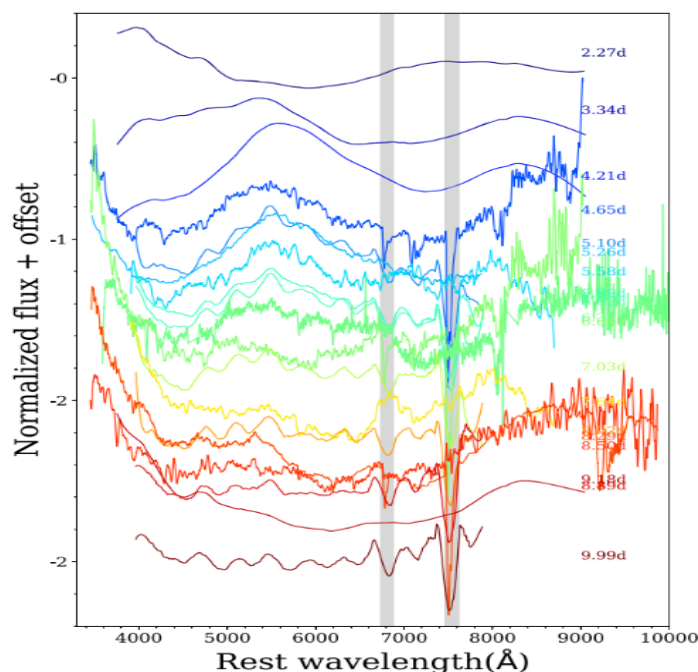


8-rasm. Yuqorida: AT 2018cowning B-V rang o'zgarishi evolyutsiyasi boshqa yaxshi kuzatilgan o'tayangi yulduzlar rang o'zgarishi bilan solishtirilgan. Quyida: AT 2018cowning temperaturasi bizning kuzatuvlarimiz davomida o'zgarishi evolyutsiyasi.

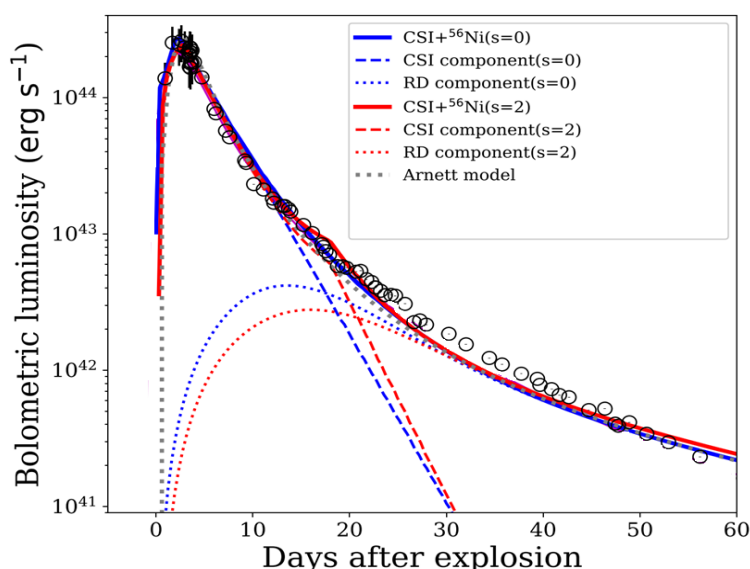
To'rtinchi bobning uchinchi paragrafda **AT2018cow obyektining modellashtirish** natijalari keltirilgan. AT2018cowning fizik talqini hali ham muhokama qilinmoqda, garchi uning fizik kelib chiqishini aniqlashga urinayotgan bir nechta versiyalar mavjud. AT 2018 cowning bolometrik yorqinlik egri chizig'ini olishda bir nechta modellardan foydalanildi (10-rasm).

Ushbu paragrafda pekulyar tranzient AT2018cow ning fotometrik va spektroskopik kuzatuvlarimizni taqdim etilgan. Ko'prangli fotometriya maksimal yorqinlikka erishish nuqtasidan taxminan 70 kungacha va spektral kuzatuvlar kashfiyotdan keyin 5 kundan taxminan 50 kungacha bo'lgan davrdagi ma'lumotlarini qamrab olgan.

Yorqinlikni tez ko'tarilish ($t_r < 2.9$ kun), porlashning maksimali ($M_{V,peak} \sim -20.8$ yulduz kattaligi) va maksimumdan keyingi tez pasayish AT2018cow ni boshqa har qanday optik tranziyentlardan farqlaydi. Diqqat bilan tahlil qilganimizdan so'ng, ravshanlik egri chiziqlari va rang evolyutsiyasi ba'zi SNe Ibn bilan kuchli o'xshashligini aniqladik. Spektral evolyutsiya va chiziq identifikatsiyalarini batafsil tahlil qilishda biz AT2018cow SNe IIn va Ibn kabi o'zaro ta'sir qiluvchi SNega o'xshash xususiyatlarni namoyish etishini aniqladik.



9-rasm. Dastlabki 10 kun ichida AT2018cow ning normalashtirilgan spektri. Soyali joylar tellur chiziqlar maydonini belgilaydi.



10-rasm. AT 2018cowning bir nechta modellar asosida olingan bolometrik egri chiziqlari.

CSI SN talqiniga asoslanib, biz bolometrik yorug‘lik egri chiziqlarimiz CSI+RD modellariga mos kelishini aniqladik (10-rasm). Zich bir xil CSM qobig‘i bilan CSI+RD modeli eng mos parametrlari $M_{ej} \sim 3.16 M_{\odot}$, $M_{CSM} \sim 0.04 M_{\odot}$ va $M_{Ni} \sim 0.23 M_{\odot}$ bilan ishonchli moslikni olishi mumkin. Bunday CSM qobig‘i yadroning qulashi oldidan LBV ning eruptiv ommaviy chiqishi natijasida yoki qo‘shaloq tizimlarda umumiy qobiqning chiqarilishi sababli hosil bo‘lishi mumkin. $Z \approx Z_{\odot}$ da ajdod yulduz PPI (Pulsational Pair Instability – pulsatsiyanuvchi juftlik beqarorligi) ga duchor bo‘lish ehtimoli kamroq. Shu sababli, AT2018cow-ning ajdodi, ehtimol, qo‘shaloq tizimdagi nisbatan massiv ulkan yulduz bo‘lgan degan xulosaga keldik.

XULOSA

“Yaqin galaktikalarda o‘tayangi yulduz chaqnashlarini monitoring qilish”
ishiga quyidagi asosiy natijalarga erishildi:

1. IRAF va Python paketlari yordami o‘rganilayotgan ob‘yektlarning fotometrik kuzatuv ma’lumotlarini qayta ishlash va tahlil qilish pipelinelari ishlab chiqildi.
2. SN 2017ein ajdodi hisoblangan xarakteristikalariga ko‘ra: absolyut yulduz kattaligi $M_V = -8.00^m \pm 0.34$ va $M_I = -7.53^m \pm 0.35$, samarali temperaturasi $\sim 70\,800 - 15\,900\text{ K}$, yorqinligi $6.1 \leq \log(L/L_\odot) \leq 7.4$, radiusi $\sim 6-14 R_\odot$ bo‘lgan WR tipidagi yulduz bo‘lib, u H/He qobig‘ining katta qismini qulashdan oldin yo‘qotgan (tashlama massasi $\sim 1 M_\odot$) va $\sim 0.13 M_\odot$ massali ^{56}Ni ni sintez qilgan. Bunda yulduz qobig‘ining radiusi $8 \pm 4 R_\odot$ va massasi $\sim 0.02 M_\odot$ bo‘lgan. Bu shuni ko‘rsatadiki, SN 2017ein, ehtimol, yulduz qobig‘idan zarba to‘lqinining sovishi belgilarini ko‘rsatadigan birinchi oddiy SN Ic o‘tayangi yulduz.
3. SN 2019einning quyidagi fizik parametrlari aniqlanadi: maksimal absolyut yulduz kattaligi $M(B) = -18.71^m \pm 0.15$, maksimal yorqinlikdan keyin pasayish darajasi $\Delta m_{15}(B) = 1.35^m \pm 0.01$, portlash vaqti $t_0 = 58603.22\text{ MJD}$ va maksimal yorqinlikka ko‘tarilish vaqti 16.0 kun. Uning eng yuqori nurlanishi $L \sim 7 \times 10^{42}\text{ erg/s}$, sintezlangan nikel massasi $M_{\text{Ni}} = (0.27 \pm 0.04) M_\odot$ ga teng. SN 2019ein uchun olingan natijalar shunga o‘xshash maksimal yorqinlikdan keyin pasayish darajasi $\Delta m_{15}(B)$ bilan solishtirilganda boshqa Ia tipidagi o‘tayangi yulduzlarga nisbatan ancha past.
4. SN 2017eaw-ning chaqnashdan keyin ~ 850 kunlik davrgacha olingan ravshanlik va rang egri chiziqlari tahlili asosida ravshanlik egri chizig‘i “dum” bosqichida yorug‘likning pasayish tezligi aniqlanadi, bunda portlashdan keyin ~ 500 kun o‘tib yorqinlikning pasayishi tezlashishi va ~ 700 kundan keyin yorqinlik pasayishi keskin sekinlashishi tasdiqlandi. Ushbu ob‘yektning ravshanlik va rang egri chiziqlarining shaklidan u o‘tayangi yulduzlarning II-P tipiga xos ekanligi ko‘rsatildi.
5. Pekulyar tranzient AT2018cow ning tez yorqinlashishi $t_r \leq 2.9$ kun va eng yuqori yorqinlik qiymati $M_{V\text{peak}} \sim -20.8^m$ aniqlandi. Cho‘qqidan taxminan 70 kungacha bo‘lgan davrdagi ko‘prangli fotometrik kuzatuv natijalariga ko‘ra yorqinlik cho‘qqisidan keyingi tez pasayishi va $t \sim 10$ va 20 kunlik vaqt momentlarida H I, He I, He II, C III, O I va O III bilan bog‘liq bo‘lgan emissiya chiziqlarining mavjudligi AT2018cow kashfiyotdan keyingi 5 kundan 50 kungacha davrda olingan spektroskopiya kuzatuvlari bilan tasdiqlandi. Ravshanlik egri chiziqlari va rang evolyutsiyasi ba’zi SNe Ibn ga juda o‘xshashligi aniqlandi. Spektral tahlil shuni ko‘rsatdiki, AT2018cow SNe IIn kabi o‘zaro ta’sirlashuvchi SN larga o‘xshash xususiyatlarni namoyish etdi. Bolometrik yorug‘lik egri chiziqlarini CSI+RD modellari bilan taqqoslash AT2018cowning ajdodi katta ehtimol bilan qo‘shaloq tizimdagi kam massali yulduz bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatdi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.02/20.12.2019.FM.15.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ
АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН РУЗ**

МИРЗАКУЛОВ ДОВРОНБЕК ОМАТЖОНОВИЧ

**МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСПЫШЕК СВЕРХНОВЫХ
ЗВЕЗД В БЛИЗЛЕЖАЩИХ ГАЛАКТИКАХ**

01.03.01 – Астрономия

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2023

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2023.1.PhD/FM844.

Диссертация выполнена в Астрономическом институте АН РУз.

Автореферат диссертации на трех языках (русском, узбекском и короткая аннотация на английском) размещён на веб-странице Научного совета (www.astrin.uz) и Информационного-образовательного портале "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Эгамбердиев Шухрат Абдуманнапович,
доктор физико-математических наук, академик

Официальные оппоненты:

Аскар Бахтиярович Абдикамалов,
доктор физико-математических наук АИ АН РУз

Цветков Дмитрий Юрьевич,
к.ф.-м.н., МГУ имени М.В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт
имени П.К. Штернберга

Ведущая организации:

**Астрофизический институт
имени Фесенкова, Казахстан**

Защита диссертации состоится "29" сеп 2023 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета PhD.02/20.12.2019.FM.15.01 при Астрономическом институте (Адрес: Астрономическая, 33, 100052, г. Ташкент. Тел.: (+99871) 235-81-02; факс: (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Астрономическом институте (регистрационный номер _____) по адресу: 100052, г. Ташкент. Астрономическая, 33, Астрономический институт, тел.: (+99871) 235-81-02).

Автореферат диссертации разослан "15" сеп 2023 г.
(Реестр протокола рассылки № 1 от "15" сеп 2023 г.)



Д.Ш. Фазылова
Заместитель председателя Научного совета
по присуждению ученой степени, д.ф.-м.н.

И.А. Ибрагимов
ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученой степени, к.ф.-м.н.

А.Б. Абдикамалов
председатель научного семинара при Научном
совете по присуждению ученой степени, д.ф.-м.н.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время изучение процессов, наблюдаемых на ранней стадии вспышки сверхновых звезд, является одной из наиболее актуальных проблем астрофизики. Изучение протозвезд важно для понимания динамики галактик и процессов вторичного звездообразования. Их также можно использовать в качестве стандартных маяков для определения космологических расстояний. Исследование сверхмассивных звезд позволяет более точно оценить расширение Вселенной и существование темной энергии (Riess и др., 1998; Perlmutter и др., 1999). С этой точки зрения большое значение имеет задача проведения качественных мониторинговых наблюдений сверхновых звезд в условиях хорошего астроклимата, а также разработка современных методов анализа наблюдательных данных.

В настоящее время в мире существует несколько проектов исследования сверхновых, таких как Supernova Cosmology Project, Sloan Supernova Survey (SSS), ROTSE (Supernova Verification Project), Palomar Transient Factory (PTF), Pan-Starrs, насчитывающих несколько сотен обнаруженных суперзвезд. Ожидается, что проект LSST, который начнет действовать в 2024 году, увеличит количество таких кандидатов. На основе организации наблюдений за таким количеством объектов необходим постоянный мониторинг для изучения их физических процессов. При проведении непрерывных наблюдений необходимо создать программу организации и оптимизации работы нескольких обсерваторий и телескопов, стандартизировать большой объем ПЗС-данных, получаемых в разных обсерваториях, использовать современные методы анализа данных.

В Узбекистане большое внимание уделяется таким фундаментальным исследованиям как изучение расширения Вселенной, образования и эволюции звезд, что является основой долговременных наблюдений сверхновых звезд и, одной из актуальных проблем астрофизики. Согласно постановлению Президента Республики, Узбекистан № ПФ-6097 от 29.10.2020 года, по ускорению развития перспективных и новых направлений науки, в том числе научных исследований в области астрономии, а также укреплению позиций нашей страны в международных рейтингах, и сотрудничеству с ведущими научными учреждениями мира, поставлена задача развития научного потенциала Узбекистана. Майданакская астрономическая обсерватория (МАО) Института астрономии Академии наук Республики Узбекистан обладает уникальным астроклиматом и удачным расположением в центре Евразийского континента. Благодаря вниманию, уделяемому в нашей Республике фундаментальным исследованиям и своему расположению, МАО позволяет проводить различные астрономические исследования и международные проекты в сотрудничестве с такими странами, как Китай, Корея, Япония, Италия, США и другими астрономическими центрами. В частности, данная исследовательская работа является результатом исследований, проведенных в сотрудничестве с ведущими мировыми

научными школами, Сеульским национальным университетом и Университетом Цинхуа.

Данная научно-исследовательская работа соответствует приоритетам и задачам утвержденным государственными нормативными документами, в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 “О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 гг.” от 7 февраля 2017 года, а также в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-5032 “О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики” от 19 марта 2021 года и а также другим нормативно-правовым документам, принятым данной сфере.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан по направлению II. “Энергетика, энерго- и ресурсосбережение”.

Степень изученности проблемы. В настоящее время ряд зарубежных европейских, американских, азиатских и американских научных групп ученых, в том числе A.Filippenko из Калифорнийского технологического института, ГАИШ им. П. К. Штернберга МГУ, Ю. Д. Цветкова и др., Wang Xiaofeng из Университета Цинхуа в Китае, Myunshin Im из Сеульского национального университета в Корее, Mett Nikol, из Бирмингемского университета в Англии, J. R. Kallington из Сиднейского университета и другие проделали большой объем работы по наблюдению сверхновых, организуя различные исследования и теоретические изыскания. Но эта исследовательская работа считается первой диссертационной работой в этой астрономической области в нашей стране.

В настоящее время проводятся теоретические и экспериментальные исследования по изучению как самих сверхновых, так и их прародителей. В результате этих исследований было обнаружено, что вспышки сверхновых можно теоретически описать несколькими способами (Zhu и др., 2016). Однако следует отметить, что свойства массивных звезд, взрывающихся как сверхновые, еще плохо изучены (Langer N 2012; Smartt SJ 2015; Antoniadis и др., 2020; Soker N. 2023).

Начало широкого использования приемников CCD (Charge-Coupled Device) в астрономии позволило значительно повысить количество и качество наблюдательного материала. Современное оборудование, наряду с возможностью получать спектрограммы ранее недоступных объектов, более точное определение интенсивности и ширины спектральных линий, а также регистрация слабых линий, создает очень большую базу данных, создавая проблему её анализа и интерпретации.

Регистрация потоков поствзрывного излучения, создаваемых вспышками сверхновых звезд и электромагнитным излучением, и их нагрев с первых минут после того, как ударная волна достигла поверхностных слоев звезды, изучение «родительской» звезды предоставляет важную информацию о процессах, происходящих на предвспышечной стадии (Falk, S. W. & Arnett, W. D., 1977; Ensmann, L. & Burrows, A., 1992; Matzner, C. D. & McKee, C. F., 1999;

Tominaga, N. и др., 2011, Leung и др., 2021; Subrayan и др., 2023). Однако на сегодняшний день никому не удалось наблюдать и зарегистрировать «первый свет» этой короткой начальной фазы сверхновой в оптическом диапазоне (Morokuma и др. 2014; Förster, F. И др. 2016; Tanaka, M. И др. 2016; Piro, Antoni и др. 2021; Matsumoto, T. & Metzger, B. 2022.). Изучение этой проблемы является одной из основных задач научно-исследовательской работы.

Кроме того, несмотря на то, что число открываемых сверхновых с каждым годом увеличивается, статистики болометрических кривых светимости пока недостаточно для определения общих закономерностей процесса, например, для детальной классификации сверхновых (Gronow и др. 2021; Burhanudin&Maund, 2023; Vinkó и др. 2023). Поэтому наблюдения сверхновых звезд в различных диапазонах служат основой для изучения вышеуказанных проблем.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.

Диссертационная работа выполнена в рамках научного проекта Астрономического института АН РУз ВА-ФА-Ф-2-007 “Многоволновое исследование физических, динамических и линзирующих свойств галактик и их скоплений”; Ф.4-18 “Исследование сверхновых звезд методом мониторинговых наблюдений близлежащих Галактик”.

Целью исследования является изучение вспышек сверхновых звезд, происходящих в близлежащих галактиках на основе мониторинговых наблюдательных данных, полученных на Майданакской астрофизической обсерватории, и других обсерваториях в рамках международной программы IMSNG.

Задачи исследования:

Проведение многоцветных фотометрических мониторинговых наблюдений избранных близлежащих галактик на Майданакской обсерватории;

Разработка оперативных методов мониторинга изменения уровня активности наблюдаемых объектов;

Создание многоцветного (UBVRI) банка (каталога, базы) наблюдательных данных вспышек сверхновых звезд в близлежащих галактиках;

Обработка, анализ, и интерпретация полученных фотометрических данных.

Объектом исследования являются сверхновые звезды в близлежащих галактиках.

Предметом исследования являются физические процессы, происходящие в сверхновых звездах, которые проявляются в кривых блеска, а также химический состав сверхновых звезд, который изучается по спектрам.

Методы исследования. Наблюдения сверхновых звезд; обработка астрономических многоцветных ПЗС-изображений с высоким временным разрешением на основе общепризнанных методов; методы фотометрического

анализа цифровых астрономических ПЗС-изображений; анализ полученных фотометрических данных и их сравнительный анализ.

Достоверность результатов исследования определяется применением современных верифицированных методов наблюдений, обработки и анализа данных, а также, сравнением с результатами наблюдений на других обсерваториях программы IMSNG.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

Разработана методика наблюдений близлежащих галактик на Майданакской обсерватории с применением ПЗС приемников;

Впервые на Майданакской обсерватории проведены интенсивные многоцветные (UBVRI) наблюдения сверхновых звезд и построены их фотометрические кривые блеска;

Впервые на Майданакской обсерватории зарегистрирована вспышка сверхновой звезды SN 2017ein;

Определены физические параметры SN 2017eaw, SN 2017ein, AT 2018cow, SN2017erp, SN 2021hpr, SN 2019ein такие как масса никеля, радиус звездная оболочка, масса выброса, абсолютная звездная величина, показатель света.

Практические результаты исследования заключаются в следующем: Полученные значения физических параметров сверхновых звезд можно использовать для уточнения их теоретических моделей. Также, разработанные и использованные методы наблюдений, фотометрия, и изучение вариаций блеска служат фундаментом для исследований других сверхновых звезд. Кроме того, результаты, полученные в диссертации, могут быть включены в программы специальных курсов университетов по внегалактической астрономии.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Новизна работы заключается в том, что на основе оригинальных наблюдений, проведенных на 1.5-м телескопе АЗТ-22, создана уникальная база данных вспышек сверхновых звезд в близлежащих галактиках. Построенные многоцветные кривые блеска, продолжительностью в несколько месяцев, являются основой в изучении физических явлений, происходящих в сверхновых звездах. Научная и практическая ценность диссертации заключается также в том, что полученные ряды наблюдений будут напрямую использоваться в дальнейшем при изучении этих и подобных им объектов.

Внедрение результатов исследования. Методы анализа, разработанные и приведенные в диссертации, использовались другими авторами при исследовании аналогичных объектов. Это подтверждают ссылки на наши публикации в следующих международных журналах, которые включены в базу данных Web of Sciences, SCOPUS и перечислены в Google Scholar:

Observations of SN 2017ein reveal shock breakout emission and a massive progenitor star for a type Ic supernova // The Astrophysical Journal 871 (2), 176. – 34 цитирования;

The Peculiar Transient AT2018cow: A Possible Origin of a Type Ibn/IIn Supernova // The Astrophysical Journal 910 (1), 42 – 30 цитирований;

Red and reddened: ultraviolet through near-infrared observations of Type Ia supernova 2017erp // The Astrophysical Journal 877 (2), 152 – 30 цитирований;

SN 2018hti: a nearby superluminous supernova discovered in a metal-poor galaxy // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 497 (1), 318-335 – 19 цитирований;

Число цитируемых работ в публикациях зарубежных авторов превышает 200.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований докладывались на семинарах Астрономического института АН РУЗ, **10** на международных и республиканских конференциях. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе – 10 научных статей в международных научных журналах с высоким рейтингом.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в проведении фотометрических наблюдений сверхновых на Майданакской обсерватории, обработке и анализе, а также интерпретации полученных результатов и написании статей.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет **126** страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** диссертации сформулированы цели и задачи работы, обоснована актуальность темы работы, новизна и достоверность результатов, отмечается научная и практическая значимость результатов исследования.

В первой главе приведена история изучения сверхновых звезд, статистика их наблюдений, дано описание Программы интенсивного мониторинга вспышек сверхновых звезд в близлежащих галактиках (IMSNG). Приведены критерии выбора объектов и краткие характеристики используемого оборудования Майданакской обсерватории, телескопа АЗТ-22 и использованных ПЗС приемников. Проведен обзор работ по классификации и моделям сверхновых звезд. Для отбора галактик в целях мониторинга в рамках программы IMSNG приняты следующие критерии:

1. $M_{\text{NUV}} < -18.4$ AB mag;
2. Расстояние $D < 50$ Мpc;
3. Галактическая широта $b > 20$ градусов.

Первый критерий определяется тем фактом, что СН чаще встречаются в галактиках с высокой скоростью звездообразования (СЗО), а яркость галактики в ближнем ультрафиолетовом диапазоне – NUV является хорошим показателем СЗО. Выбор галактик с $M_{\text{NUV}} < -18.4$ AB дает выборку, где средняя частота сверхновых составляет около 0.06 СН в год, что примерно в шесть раз выше средней частоты появления сверхновых.

Второй критерий – выбор галактик на расстояниях D ближе 50 Мпк позволяет обнаружить СН вызванных взрывами малых звезд-предшественников.

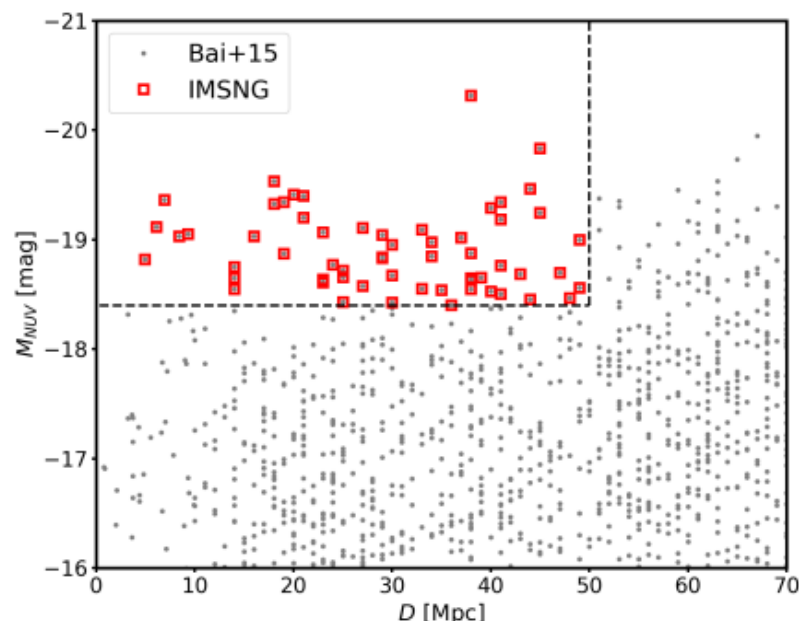


Рис. 1. Галактики изученные Bai и др., Красными квадратами отмечены галактики отобранные согласно критериям программы IMSNG.

Третий критерий (Галактическая широта $b > 20$ градусов) введен для того, чтобы выбирать галактики, расположенные выше областей Галактики с большой экстинкцией и засветкой от звезд.

Основываясь на этих критериях, для мониторинга близлежащих галактик в рамках программы IMSNG из УФ-атласа Galaxy Evolution Explorer (GALEX) Gil de Paz и др., (2007) и Bai и др., (2015) было выбрано 60 галактик (Рис. 1).

Вторая глава посвящена описанию методики обработки фотометрических и спектральных данных наблюдений сверхновых. Приведены основные процедуры обработки ПЗС изображений сверхновых звезд: калибровка данных, построение кривых блеска методом ФРТ (Функция Рассеяния Точки) фотометрии.

Предварительная обработка ПЗС изображений является важной частью при работе с астрономическими цифровыми изображениями. Стандартная предварительная обработка астрономических ПЗС изображений, полученных в ходе наблюдений, включают следующие стандартные процедуры:

- байс коррекция – коррекция на смещение нуля, которая в зарубежной англоязычной литературе называется “bias”,
- коррекция на темновой ток, в англоязычной литературе называется “dark”- дарк. Дарк-изображения получают с такими же экспозициями с которыми наблюдались исследуемые объекты.
- коррекция неравномерности чувствительности (“flat fielding” - флат) ПЗС камеры. Флат-изображения получают в тех же световых фильтрах, в которых наблюдались исследуемые объекты.



Рис. 2. Изображение галактики NGC6946 до и после обработки, полученное на телескопе Азт-22 Майданакской обсерватории.

После предварительной обработки (Рис.2) проводилась PSF фотометрия, с использованием пакета IRAF/DIGIPHOT/DAOPHOT. Функция рассеяния точки (ФРТ, PSF) — это передаточная функция данной оптической системы, связанная с точечным источником, который из-за атмосферных явлений (например, турбулентности) вместо диска Эйри с дифракционным ограничением, принимает широкий гауссовский профиль. Яркость исследуемого объекта пропорциональна объемному интегралу профиля. Функция рассеяния точки определяется путем усреднения профилей 20-50 ярких звезд, видимых на каждом изображении, для чего IRAF выбирает наилучшую аппроксимацию из 6 аналитических функций.

Все спектры также были обработаны с использованием стандартных процедур IRAF, которые включают поправки на смещение, плоское поле и удаление космических лучей. Спектры дуговых ламп Fe/Ar и Fe/Ne, полученные в ночи наблюдений, использовались для калибровки длины волны спектров, а стандартные звезды, наблюдавшиеся в ту же ночь с такими же воздушными массами, как и SN, использовались для калибровки потока спектров. Спектры были дополнительно скорректированы на непрерывное атмосферное поглощение во время калибровки потока с использованием средних кривых поглощения. В результирующем спектре есть несколько узких линий поглощения, которые являются артефактом обработки данных. Поскольку программное обеспечение (ПО) обработки данных, созданное нами определяет фон путем объединения волокон с наименьшим уровнем потока, фон обязательно будет содержать некоторые особенности галактики. Таким образом, спектры показывают некоторые ложные линии поглощения, возникающие в результате вычитания эмиссионных линий от других слабых частей родительской галактики. Эти поддельные линии вручную удаляются из спектра.

Третья глава состоит из четырех параграфов и посвящена результатам изучения сверхновых типа I:

В первом и втором параграфе «Сверхновая SN 2019ein: фотометрия и спектральные наблюдения» и «Анализ результатов наблюдений SN 2019ein» приведены результаты наблюдений и анализа SN 2019ein, кривые блеска и фотометрические свойства SN 2019ein. Обсуждаются оценки физических параметров SN 2019ein.

Многоцветные кривые блеска SN 2019ein показаны на рисунке 3 и охватывают фазы от двух недель до и более 80 дней после максимума блеска в полосе *B*. Общая форма кривой блеска соответствует нормальной среди SN Ia, и характеризуется вторичным пиком в полосах *I* и *R*.

Проведен сравнительный анализ кривых блеска *UBVg* и *Rrli* SN 2019ein с характеристиками некоторых хорошо наблюденных SN Ia. Выборка сравнения содержит три высокоскоростных сверхновых (HV) типа: Ia (SNe Ia) с близкими $\Delta m_{15}(B)$, SN 2001br ($\Delta m_{15}(B) = 1.35 \pm 0.05$ величины), SN 2004ef ($\Delta m_{15}(B) = 1.38 \pm 0.05$ величины), и SN 2005am ($\Delta m_{15}(B) = 1.45 \pm 0.07$ величины), и два других HV-объекта с аналогичной скоростью вблизи максимума блеска, включая SN 2002bo ($\Delta m_{15}(B) = 1.13$ величины) и SN 2009ig ($\Delta m_{15}(B) = 0.89$ величины). Две SNe Ia с нормальной скоростью (NV-Normal velocity), SN 2004eo ($\Delta m_{15}(B) = 1.46$ величины) и SN 2011fe ($\Delta m_{15}(B) = 1.18$ величины), также включены в сравнение.

Для получения болометрической кривой блеска и массы ^{56}Ni , следуя процедуре, предложенной Li и др., (2019), нами было использовано ПО SNooPy2 для построения спектрального распределения энергии и, следовательно, болометрической кривой блеска на основе *UuBVgRrli*-полосной фотометрии. С помощью многоцветной фотометрии максимальная болометрическая светимость оценивается в $L \approx 7 \times 10^{42}$ эрг/с для SN 2019ein. Приняв время нарастания $t_{\text{rise}} = 160$ дней, мы оцениваем массу ^{56}Ni , синтезированного при взрыве, как $M_{\text{Ni}} = (0.27 \pm 0.04) M_{\odot}$ с наиболее подходящей моделью Арнетта и кривыми моделей двойной детонации с разными массами белого карлика (далее – WD).

SN 2019ein имеет абсолютную пиковую звездную величину в полосе $M(B) = -18.71 \pm 0.15$ зв. величины и скорость снижения после пика $\Delta m_{15}(B) = 1.35 \pm 0.01$ зв. величины. Используя модель “огненного шара” для соответствия кривой блеска ранней фазы, время взрыва оценивается как $t_0 = 58603.22$ MJD, что дает оценку времени нарастания ~ 16.0 дней.

Анализ энергетики выполнен для SN 2019ein на основе синтезированной массы ^{56}Ni и скорости выброса, что накладывает жесткие ограничения на массу ее прародителя WD. Предполагаемый верхний предел ($M \leq 1.22 M_{\odot}$) значительно меньше, чем чандрасекарский предел массы, даже если принять скорость выброса ($v_{\text{ej}} = 10\,500$ км/с), намного меньшую, чем скорость Si II ($\sim 11\,600$ км/с), измеренная через несколько недель после максимума света. Предполагаем, что SN 2019ein, скорее всего, является асимметричным взрывом субчандрасекарского WD и рассматривается с направления, вдоль которого выбросы имеют большую скорость к нам.

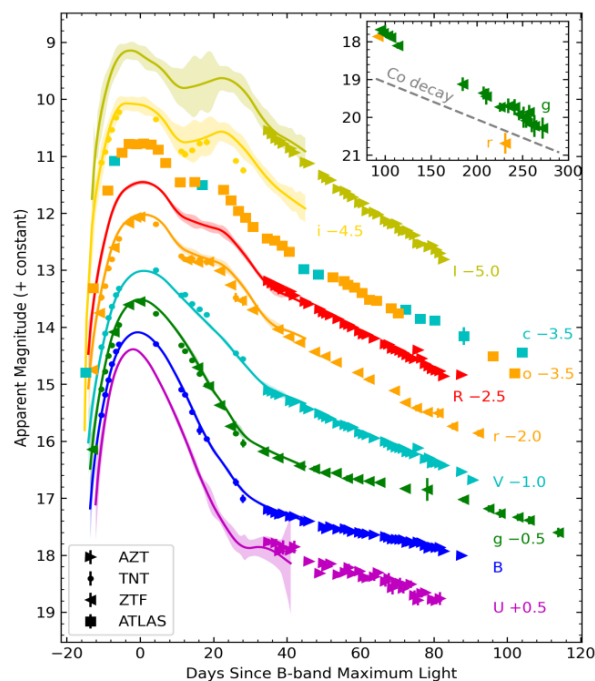


Рис.3. Кривые блеска SN 2019ein по всем использованным данным. Сплошные линии результат подгонки по программе SALT2. По оси X указано количество дней относительно максимального блеска в B на 16.36 мая 2019 г.

В третьем и четвертом параграфе “Сверхновая SN 2017ein: фотометрия, спектральные наблюдения, анализ результатов наблюдений и моделирование SN 2017ein” приведены результаты проведенного фотометрического обзора. Приводятся построенные болометрические кривые блеска сверхновых SN 2017ein и приведена оценка физических параметров.

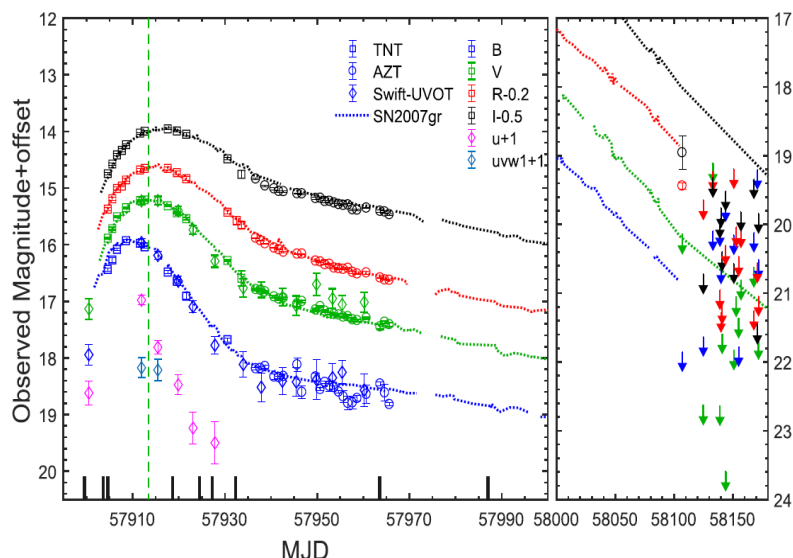


Рис. 4. Кривые блеска SN 2017ein в BVRI. Вертикальной пунктирной линией отмечена максимальная яркость в полосе V. Также нанесены кривые блеска SN 2007gr в BVRI (Chen и др., 2014).

Применяя полиномиальную аппроксимацию к данным вокруг максимума блеска, нами было обнаружено, что SN 2017ein достигла пика $m_{B(\text{пик})} = 15.91 \pm 0.04$ зв. величины в полосе B на момент времени MJD 57 909.86 и пика в

полосе $m_{V(\text{пик})} = 15.20 \pm 0.02$ зв. величины ~ 3.6 дня спустя (Рис. 4.). Это дает оценку цвета $B_{\text{max}} - V_{\text{max}}$ как 0.71 ± 0.05 зв. величины для SN 2017ein, что намного краснее типичного значения для нормальной SNe Ic. Учитывая небольшое покраснение $E(B-V)_{\text{MW}} = 0.019$ зв. величины из-за Млечного Пути (Schlafly & Finkbeiner 2011) и типичный цвет $B-V=0.4$ зв. величины для нормальной SN Ic вблизи максимума блеска (Drouot и др., 2011), красный цвет, наблюдаемый для SN 2017ein, указывает на то, что она сильно покраснела из-за родительской галактики.

Нами также был измерен параметр скорости снижения звездной величины после пика Δm_{15} , который оценили, как 1.33 ± 0.07 зв. величины в B-полосе и 0.93 ± 0.04 зв. величины в V-полосе для SN 2017ein. Эти значения почти равны измеренным для SN 2007gr ($\Delta m_{15}(B) = 1.31$, Чен и др., 2014).

Для получения оценок физических параметров сверхновой нами была использована модель Арнетта (1982) для фотосферной фазы ($t < 30$ дней) и модель Сазерленда и Уилера (Sutherland & Wheeler, 1984) для небулярной фазы ($t > 60$ дней).

Аналогичный подход был применен к SN2003jd Valenti и др., (2008), однако они применяли модели отдельно для каждой части. В нашем случае обе фазы устанавливались одновременно.

Основное отличие от предложения Арнетта заключается в том, что как ^{56}Ni , так и ^{56}Co учитываются при выделении энергии, как это было предложено Valenti и др., (2008).

Для поздних стадий кривой блеска (небулярная фаза) выход энергии опосредуется радиоактивным распадом $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ (Sutherland & Wheeler, 1984). Учитывалось гамма-излучение от распада Ni и Co, а также гамма-излучение от электрон-позитронной аннигиляции и кинетическая энергия позитронов.

Оценки, полученные в результате фиттинга составили, $M_{\text{Ni}} = 0.13 M_{\odot}$, $M_{\text{ej}} = 1.246 M_{\odot}$ и $E_k = 1.641 \cdot 10^{51} \text{erg}$.

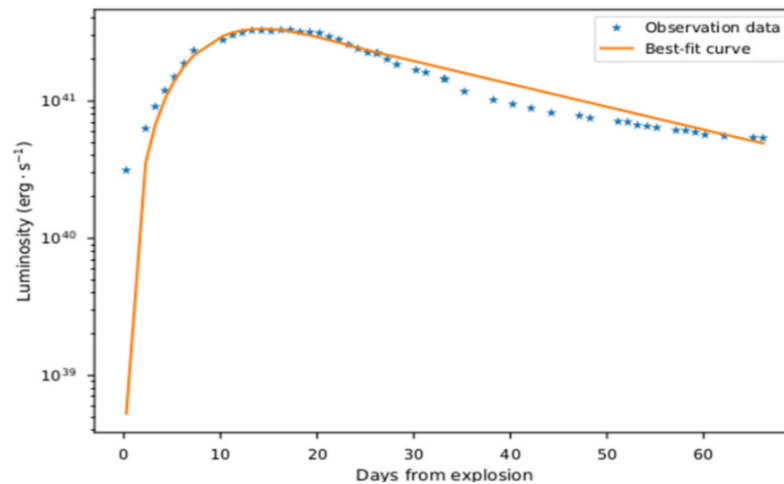


Рис. 5. Болометрическая кривая блеска SN2017ein

Модельная кривая наилучшего соответствия вместе с данными наблюдений представлена на рис. 5

В четвертой главе “Исследования сверхновых типа II” приведены результаты изучения сверхновых типа II на основе наших наблюдений. Глава состоит из трех параграфов:

В первом параграфе “Сверхновая II-P SN 2017eaw: наблюдения и кривая блеска” приведены кривые блеска и фотометрические свойства SN 2017eaw, которая наблюдалась в галактике NGC 6946.

Выявлено, что характер кривых блеска на поздних стадиях различается: для SNe 1987A, 2004et, 2017eaw наблюдается значительное ускорение падения блеска в фазе около 300 суток после вспышки, а для SN 2012ew оно гораздо слабее. После фазы 700 сут. SNe 2004et, 2017eaw и, возможно, 2012aw показывают довольно резкое замедление темпа падения блеска, а для SN 1987A скорость падения блеска в это время не меняется. Такую скорость падения блеска следует ожидать, если источником энергии является распад ^{56}Co с полной термализацией гамма-квантов. В начале линейного участка у всех показанных SNe падение блеска происходит со скоростью, близкой к ожидаемой. Причиной ускорения падения блеска считается повышение доли гамма-квантов, выходящих из оболочки. Резкое замедление объясняется взаимодействием расширяющейся оболочки с околос звездным веществом.

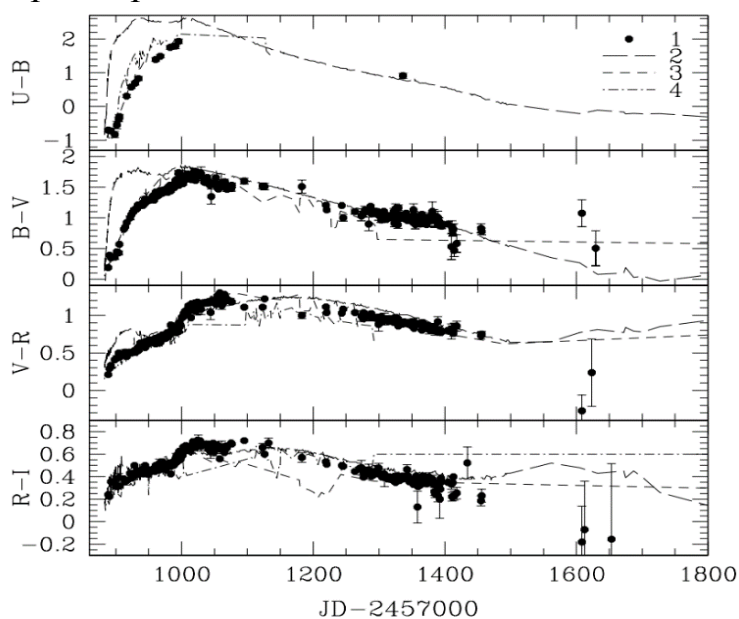


Рис. 6. Кривые цвета SN 2017eaw (1) и сравнение с кривыми цвета SNe II 1987A (2) 2004et (3) и 2012aw (4)

Кривые цвета SN 2017eaw и сравнение с кривыми цвета для тех же трех SN II-P показаны на рис. 6. В работе Цветкова и др. (2018) предположили, что поглощение света SN 2017eaw в галактике NGC 6946 незначительно, и все поглощение происходит в нашей Галактике, для которой была дана оценка $E(B-V) = 0.30$. Это предположение подтверждено Ван Диком и др. (2019), которые не нашли признаков межзвездных линий поглощения, возникающих в NGC6946, в спектре SN 2017eaw. Необходимо отметить, что на рис. 4 показаны наблюдаемые цвета SN 2017eaw без коррекции за поглощение. Для SN 2004et, вспыхнувшей в той же галактике, также приведены наблюдаемые

цвета. Сопоставление подтверждает практически одинаковое покраснение для этих двух SNe. Кривые цвета для SNe 1987A и 2012aw, для которых принято поглощение, соответственно, $E(B-V) = 0.16$ и 0.17 , сдвинуты, чтобы привести их к избытку цвета для SN 2017eaw. Кривые цвета SN 1987A на начальной стадии сильно отличаются от кривых для типичных SNe II-P, однако после выхода на линейный “хвост” различие уменьшается. Сравнение кривых также подтверждает корректность принятого нами значения поглощения для SN 2017eaw.

В втором параграфе “**AT 2018cow: сверхновая типа Ibn/IIn?**” приведены результаты проведенного фотометрического и спектрометрического анализа AT 2018cow.

Внегалактический транзиент AT2018cow (ATLAS18qqn) привлек большое внимание из-за необычного поведения его кривых блеска и спектральной эволюции. Он был обнаружен с помощью ATLAS на MJD 58 285.44 (UT 16:44 июня 2018 г.) с величиной 14.76 ± 0.10 звездной величины в оранжевой полосе ATLAS (Smartt и др., 2018). Сверхновая звезда находится далеко от центра родительской галактики CGCG 137-068 ($z=0.0141$, $DL=63$ Мпк). Это расстояние означает, что AT2018cow светится так же ярко, как пик SNe типа Ia (SNe Ia) при открытии. Было обнаружено, что он быстро развивается со временем нарастания менее 3 дней и максимальной величиной <-20 зв. Измеренная температура фотосферы составляет $\sim 30\,000$ К вблизи пика, и она сохраняла высокую температуру $\sim 15\,000$ К $\sim$ через 20 дней после открытия (Prentice и др., 2018; Perley и др., 2019). Все эти особенности предполагают, что AT2018cow может быть включен в FBOT (fast-rising blue optical transients - транзиент с быстрым увеличением оптической яркости).

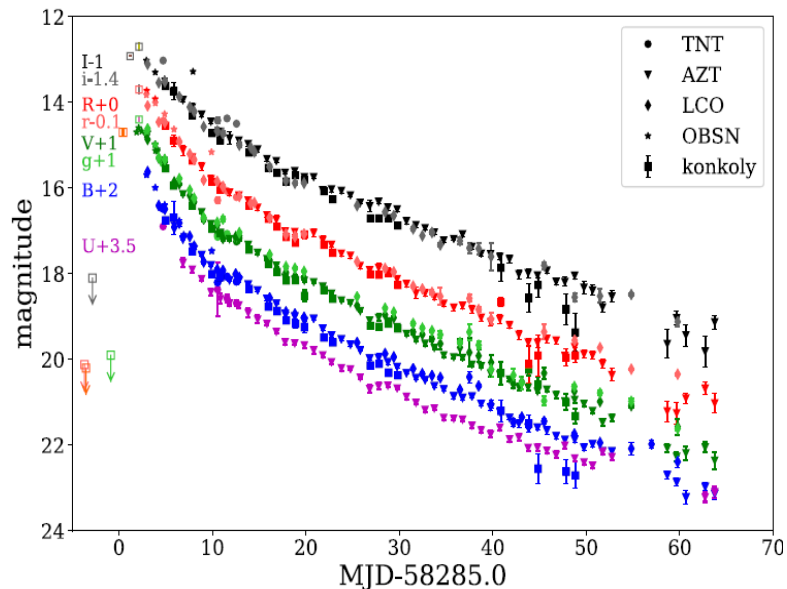


Рис. 7. Кривые блеска, полученные с разных телескопов. Магнитуды в разных диапазонах смещены для лучшего отображения.

Кривые блеска, полученные на Майданакской обсерватории и сетью обсерваторий программы IMSNG показаны на рис. 7, где наши данные

составляют 70% от общих данных. На них видно, что AT2018cow поднимается до пика при $\sim 58\,287.0$ MJD в полосах V, R и I, где кривые блеска лучше дискретизируются вокруг пика. Последний предел необнаружения составляет $58\,284.13$ MJD в диапазоне g (Prentice и др., 2018), поэтому время нарастания AT2018cow составляет менее 2.9 дней. Если мы возьмем медиану первого обнаружения (т.е. обнаружения ATLAS), $58\,285.44$ MJD и последнего необнаружения (т.е. $58\,284.13$ MJD) в качестве времени первого света, то время нарастания составит $\sim 2,2$ дня. Мы определили время взрыва при $\text{MJD} = 58\,284.79 \pm 0.66$ при изучении AT 2018cow. Это время нарастания слишком короткое по сравнению с SNe, у которых время нарастания обычно превышает 10 дней. После пика кривые блеска спадают со скоростью 0.33, 0.27 и 0.22 звездных сут $^{-1}$ в течение первых 10 дней в полосах V, R и I соответственно.

Следует отметить, что высокая светимость и быстрая эволюция, наблюдаемые у AT 2018cow, лежат в диапазоне SNe Ibn. Вовремя наших наблюдений AT2018cow сохраняла очень синий цвет (т. е. $B-V \sim -0.1$ mag; рис. 8). Мы рассматриваем только галактическое поглощение $E(B-V)=0.08$ (Schlafly & Finkbeiner 2011) для AT2018cow и игнорируем поглощение хозяйской галактики. Также Perley и др., (2019) показали, что температура фотосферы AT2018cow достигает ~ 30000 K вблизи максимальной освещенности и все еще достигает $\sim 14\,000$ K через ~ 50 дней после открытия. Этого не наблюдается ни у одного другого когда-либо обнаруженного оптического транзиента.

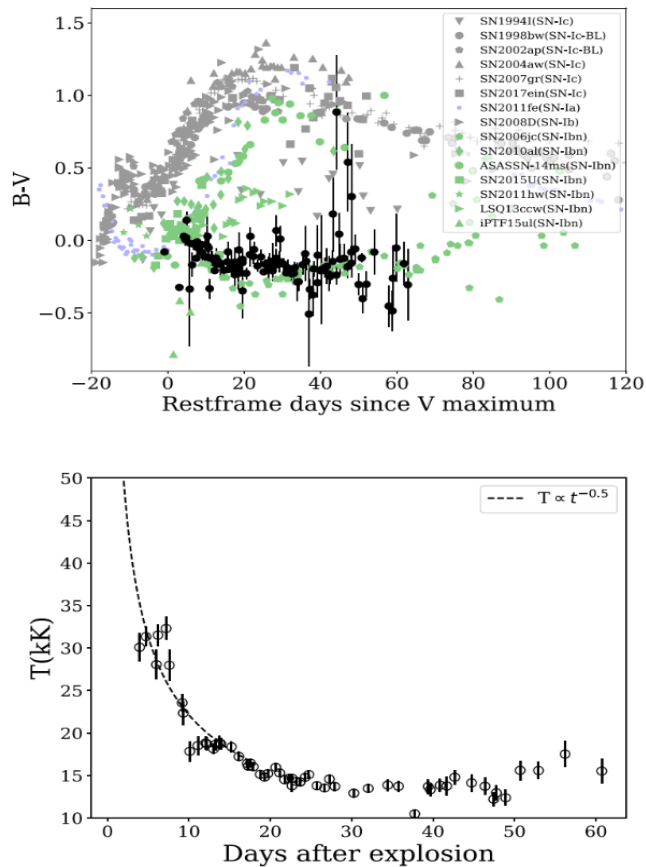


Рисунок 8. Сверху: эволюция B–V AT 2018cow по сравнению с другими хорошо наблюдаемыми SN. Внизу: температурная эволюция AT 2018cow.

Спектры AT2018cow характеризуются невыразительным голубым континуумом в первые ~ 10 дней после открытия, а некоторые широкие эмиссионные детали появляются позже, с возможным влиянием поглощения от родительской галактики. В первые 10 дней спектры характеризуются широкой чертой (областью) около $5000 \text{ \AA}$, как показано на рис. 9. Позднее появляется множество широких эмиссионных линий, перекрывающихся множеством узких и сильных эмиссионных линий. А в красном конце наблюдается избыток потока, что, вероятно, связано с выбросом пыли на более поздних фазах. Как было предложено Fox & Smith (2019), спектры AT2018cow могли демонстрировать признаки околос звездного взаимодействия (CSI), такие как SN Ibn и IIn, в то время как типичными особенностями CSI являются узкие эмиссионные линии H и He.

Естественно рассматривать транзистент AT2018cow как сверхновую. Fox & Smith (2019) обнаружили сходство между AT2018cow и некоторыми SNe Ibn и IIn. Здесь мы утверждаем, что, хотя AT2018cow демонстрирует признаки взаимодействия, подобные SNe Ibn и IIn, его спектральная эволюция сильно отличается от эволюции SNe Ibn и IIn. Поскольку у нее более слабые линии на всех фазах, спектральные характеристики AT2018cow, по-видимому, отличаются от любых других взаимодействующих SN.

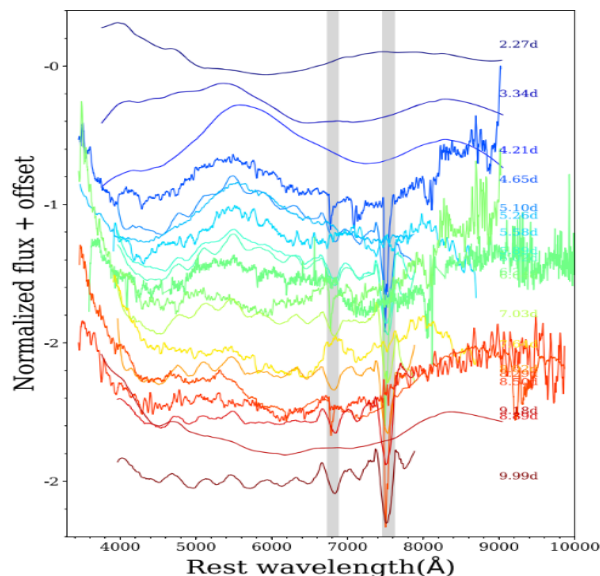


Рисунок 9. Нормализованные спектры AT2018cow полученные в первые 10 дней. Заштрихованные области отмечают область теллурических линий.

Широкие эмиссионные детали AT2018cow, по-видимому, отличаются от спектральных особенностей обычной SNe II. Отсутствие абсорбционных особенностей означает, что AT2018cow, возможно, больше похожа на SNe IIn/Ibn, чем на SNe IIp/IIl, а скорости широкого эмиссионного компонента AT2018cow ($v \sim 10\,000 \text{ км/с}$) намного выше, чем у обычных SNe Ibn/IIn.

В третьем параграфе “**Результаты моделирования AT2018cow**” приведен анализ физических свойств AT2018cow. Физическая интерпретация AT2018cow все еще обсуждается, хотя уже есть несколько версий, пытающихся раскрыть ее физическое происхождение. Для получения

болометрической кривой блеска AT 2018 cow было использовано несколько моделей (рис. 10).

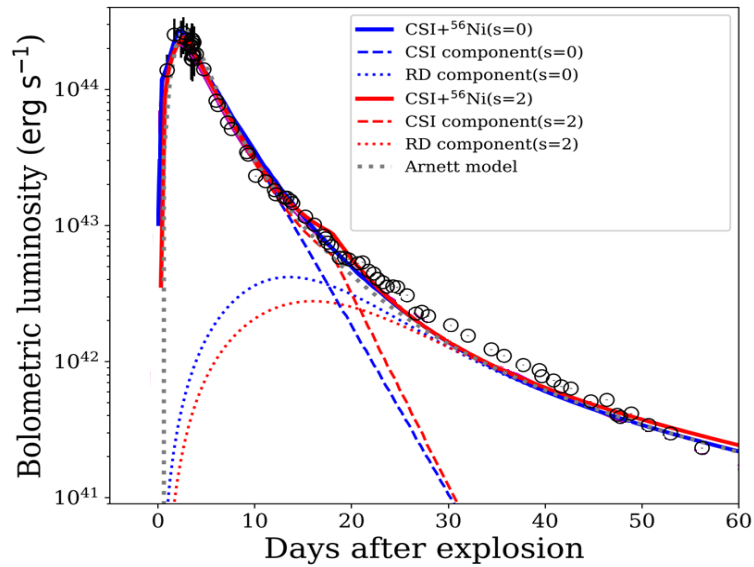


Рис.10. Болометрическая кривая блеска AT2018cow на основе нескольких моделей.

В этом параграфе мы представляем наши фотометрические и спектроскопические наблюдения пекулярного транзиента AT2018cow. Многополосная фотометрия охватывает период от пика до примерно 70 дней, а спектроскопия — от 5 до примерно 50 дней после открытия. Быстрый подъем ($t_r < 2.9$ дня), максимум свечения ($M_{V_{\text{пик}}} \sim -20.8$ зв. вел.) и быстрое пост-пиковое снижение выделяют AT2018cow среди любых других оптических транзиентов. После тщательного анализа мы обнаружили, что кривые блеска и эволюция цвета показывают большое сходство с некоторыми SNe Ibn. При детальном анализе спектральной эволюции и идентификаций линий мы обнаружили, что AT2018cow проявляет свойства, сходные с взаимодействующими SNe, такими как SNe IIn и Ibn.

Основываясь на интерпретации CSI SN, нами обнаружено совпадение наших болометрических кривых блеска с моделями CSI+RD. С плотной однородной оболочкой CSM модель CSI+RD может получить правдоподобное соответствие с параметрами наилучшего соответствия $M_{ej} \sim 3.16 M_{\odot}$, $M_{CSM} \sim 0.04 M_{\odot}$ и $M_{Ni} \sim 0.23 M_{\odot}$. Такая оболочка CSM может быть образована эруптивным массовым выбросом LBV непосредственно перед коллапсом ядра или выбросом общей оболочки в двойных системах. При $Z \approx Z_{\odot}$ прародитель с меньшей вероятностью подвергся PPI (pulsational pair instability — пульсационная парная неустойчивость). Мы сделали вывод, что прародитель AT2018cow, вероятно, является менее массивной звездой в двойной системе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По проведенной работе “Мониторинговые исследования вспышек сверхновых звезд в близлежащих галактиках” получены следующие основные результаты:

1. Разработаны скрипты обработки и анализа фотометрических данных наблюдений изучаемых объектов, используемые в среде IRAF и Python.
2. Определено, что прародителем SN 2017ein, является звезда типа WR, которая потеряла большую часть своей оболочки H/He до коллапса (масса выброса $\sim 1 M_{\odot}$), и синтезировала ^{56}Ni массой $\sim 0.13 M_{\odot}$, при радиусе звездной оболочки $8 \pm 4 R_{\odot}$ и массе ($\sim 0.02 M_{\odot}$). Это указывает что, SN 2017ein, возможно представляет собой первую нормальную сверхновую SN Ic, у которой наблюдаются признаки охлаждения прорыва ударной волны из звездной оболочки.
3. Определены характеристики SN 2019ein: абсолютная пиковая звездная величина $M_{(B)} = -18.71^m \pm 0.15$, скорость снижения после пика $\Delta m_{15}(B) = 1.35^m \pm 0.01$, время взрыва $t_0 = \text{MJD } 58603.22$ и оценка времени нарастания 16.0 дней. Построена её болометрическая кривая блеска и получены оценки пиковой светимости $L \approx 7.0 \times 10^{42}$ эрг/с., массы синтезированного никеля $M_{\text{Ni}} = (0.27 \pm 0.04) M_{\odot}$. Полученные оценки для SN 2019ein заметно ниже, чем у обычной SNe Ia с аналогичными $\Delta m_{15}(B)$.
4. Определены скорости падения блеска на стадии линейного “хвоста” кривых блеска, подтверждено ускорение падения блеска через ~ 500 сут. после вспышки и резкое замедление падения блеска через ~ 700 сут. после вспышки для SN 2017eaw по полученным кривым блеска и цвета до эпохи ~ 850 сут после вспышки. Показано, что форма кривых блеска и цвета данного объекта характерна для SN типа II-P.
5. Определены характеристики пекулярного транзиента AT2018cow, быстрый подъем $t_r \leq 2.9$ дня, пиковое значение блеска $M_{V_{\text{peak}}} \sim -20.8^m$, быстрое пост-пиковое снижение и наличие эмиссионных линий, связанных с H I, He I, He II, C III, O I и O II в моменты времени ($t \sim 10$ и 20 дней) по проведенной многополосной фотометрии с периодом наблюдений от пика до примерно 70 дней, и спектроскопии с периодом наблюдений от 5 до примерно 50 дней после открытия. Выявлено, что кривые блеска и эволюция цвета демонстрируют большое сходство с некоторыми SNe Ibn, а спектральный анализ показал, что AT2018cow проявляет сходные свойства с взаимодействующими SN, такими как SNe IIn. Сопоставление болометрических кривых блеска с моделями CSI+RD показало, что прародителем AT2018cow, с большей долей вероятности является мало-массивная звезда в двойной системе.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.02/20.12.2019.FM.15.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREE AT THE ASTRONOMICAL INSTITUTE**

ASTRONOMICAL INSTITUTE

MIRZAQULOV DOVRONBEK OMATJONOVICH

**MONITORING STUDIES OF SUPERNOVA EXPLOSIONS IN NEARBY
GALAXIES**

01.03.01 – Astronomy

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON
PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2023

The theme of the dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission at the ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under B2023.1.PhD/FM844.

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at Astronomical Institute.

The abstract of the dissertation was posted in three (Uzbek, English, Russian (resume)) languages on the website of the Scientific Council (www.astrin.uz) and on the website of "Ziyonet" informational and educational portal (www.ziyonet.uz).

Supervisors:

Ehgamberdiev Shuhrat Abdumannapovich,
doctor of physical and mathematical sciences,

Official opponents:

Askar Baxtiyarovich Abdikamalov,
doctor of physical and mathematical sciences,

Dmitriy Yuriyevich Tsvetkov,
PhD, Sternberg Astronomical Institute
Moscow University

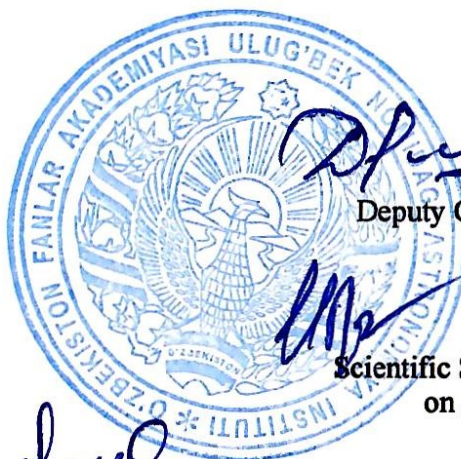
Leading organization:

Fesenkov Astrophysical Institute, Kazakhstan

The defence of the dissertation will be held on "29" sept 2023, at the meeting of the Scientific Council No. PhD.02/20.12.2019.FM.15.01 at the Astronomical Institute (Address: UBAI, 33 Astronomicheskaya street, 100052, Tashkent city. Phone: (+99871) 235-81-02; Fax: (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz)

The doctoral (PhD) dissertation can be looked through in the Information Resource Center of Astronomical Institute (registered under No. _____). (Address: 33 Astronomicheskaya street, 100052, Tashkent city. Phone: (+99871) 235-81-02; Fax: (+99871) 234-48-67).

The abstract of dissertation was distributed on "15" sept 2023.
(Registry record No. 1 dated "15" sept 2023).



D.Sh. Fazilova
Deputy Chairman of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., academician

I.A. Ibragimov
Scientific Secretary of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees, PhD

A.B. Abdikamalov
Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific
Council on Award of Scientific Degrees, D.Ph.-M.S.

INTRODUCTION (Abstract of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD))

The aim of the research is to study the supernova explosions occurring in nearby galaxies based on monitoring observational data obtained at the Maidanak Astrophysical Observatory and other observatories within the framework of the international IMSNG program.

The tasks of the research:

to conduct multi-color photometric monitoring observations of selected nearby galaxies at the Maidanak Observatory.

to develop the operational monitoring methods for tracking the activity levels of observed objects.

to create a multi-color (UBVRI) database (catalog, repository) of observational data of supernova explosions in nearby galaxies.

to process, analyze, and interpret the obtained photometric data.

The object of the research are supernova stars in nearby galaxies.

The subject of the research is the physical processes occurring in supernova stars, manifested in their light curves, as well as the chemical composition of supernova stars studied through spectra.

The methods of the research. Observations of supernova stars; processing of astronomical multi-color CCD images with high temporal resolution based on widely recognized methods; methods of photometric measurements based on digital astronomical CCD images; analysis of the obtained photometric data and their comparative analysis.

The scientific novelty of the research is as follows:

A methodology for observing nearby galaxies at the Maidanak Observatory using CCD receivers has been developed.

Intensive multi-color (UBVRI) observations of supernova stars have been carried out at the Maidanak Observatory, and their photometric light curves have been constructed.

The flash of the supernova star SN 2017ein has been recorded at the Maidanak Observatory for the first time.

Physical parameters of SN 2017eaw, SN 2017ein, AT 2018cow, and SN 2017erp, such as nickel mass, stellar shell radius, ejection mass, absolute magnitude, and light exponent have been determined.

Practical results of the research are as follows

The obtained values of the physical parameters of supernova stars can be used to refine corresponding theoretical models. Additionally, the developed and used methods of observation, photometry, and the study of brightness variations serve as a base for investigating other supernova stars.

The reliability of the research results is determined by the use of modern verified methods of observation, data processing, and analysis, as well as by comparison with the results of observations from other observatories within the IMSNG program.

Scientific and practical significance of the research results.

The novelty of the work lies in the creation of a unique database of supernova star flashes in nearby galaxies based on original observations conducted on the 1.5-meter AZT-22 telescope. The constructed multi-color light curves lasting several months serve as a basis for studying the physical phenomena occurring in supernova stars. The scientific and practical value of the dissertation also lies in the fact that the obtained series of observations will be directly used in further studies of these and similar objects.

Implementation of the research results. The analysis methods developed and presented in the dissertation have been used by other researchers in the study of similar objects. This is confirmed by references to our publications in the following international journals included in the Web of Science, SCOPUS databases, and listed in Google Scholar:

Observations of SN 2017ein reveal shock breakout emission and a massive progenitor star for a type Ic supernova // The Astrophysical Journal 871 (2), 176. – Cited 34;

The Peculiar Transient AT2018cow: A Possible Origin of a Type Ibn/IIn Supernova // The Astrophysical Journal 910 (1), 42 – Cited 30;

Red and reddened: ultraviolet through near-infrared observations of Type Ia supernova 2017erp // The Astrophysical Journal 877 (2), 152 – Cited 30;

SN 2018hti: a nearby superluminous supernova discovered in a metal-poor galaxy // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 497 (1), 318-335 – Cited 19;

The total number of references to the results of the conducted work in publications by foreign authors exceeds 200.

Testing of the research results. The main results of the dissertation have been reported and discussed at 10 international and republican scientific and practical conferences.

Publication of the research results.

On the theme of the dissertation, 17 scientific papers have been published, including 10 scientific articles in high-ranking international scientific journals.

Volume and structure of the dissertation: The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion and a bibliography. The volume of the dissertation is 126 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
LIST OF PUBLISHED WORKS
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

I бўлим (part I; I часть)

1. Мирзақулов Д.О., Эгамбердиев Ш.А. “Кривая блеска сверхновой SN 2015f в NGC 2442” // ДАН РУз. 2016 № 2 p.19-21. (01.00.00 №7).

2. Im, Myungshin; Choi, Changsu; Hwang, Sungyong; Lim, Gu; Kim, Joonho; Kim, Sophia; Paek, Gregory S. H.; Lee, Sang-Yun; Jung, Hyunjin; Sung, Hyun-Il; Mirzaqulov, Davron; Ehgamberdiev, Shuhrat; Burhonov, Otabek; Kang, Wonseok; Kim, Taewoo; Kwon, Sun-gill; Pak, Soojong; Woojin; Ahn, Hojae; Byeon, Seoyeon; “Intensive Monitoring Survey of Nearby Galaxies (IMSNG)” // Jurnal of the Korean Astronomical Society, 2019, Journal of the Korean Astronomical Society, vol. 52, no. 1, pp. 11-21. (№1. Web of Science IF=1,806).

3. Brown, Peter J.; Hosseinzadeh, Griffin; Jha, Saurabh W.; Sand, David; Vieira, Ethan; Wang, Xiaofeng; Mirzaqulov, Davron; Dai, Mi; Dettman, Kyle G.; Mould, Jeremy; Uddin, Syed; Wang, Lifan; Arcavi, Iair; Bento, Joao; Burns, Chris R.; Diamond, Tiara; Hiramatsu, Daichi; Howell, D. Andrew; Marion, G. H.; Valenti, Stefano; Xiang, Danfeng “Red and Reddened: Ultraviolet Through Near-Infrared Observations of Type Ia Supernova 2017erp *”// The Astrophysical Journal, 2019. Volume 877, Issue 2, article id. 152, 13 pp. (№1. Web of Science IF=5,521).

4. Xiang, Danfeng; Wang, Xiaofeng; Mo, Jun; Wang, Lingjun; Smartt, Stephen; Fraser, Morgan; Mirzaqulov, Davron; Ehgamberdiev, Shuhrat A.; Zhang, Jujia; Vinko, Jozsef; Wheeler, J. Craig; McCully, Curtis; DerKacy, James M.; Baron, E.; Brown, Peter; Zhang, Xianfei; Bi, Shaolan; Song, Hao; Zhang, Kaicheng; Rest, A.; Nomoto, Ken'ichi; Tolstov, Alexey; Blinnikov, Sergei. “Observations of SN 2017ein Reveal Shock Breakout Emission and A Massive Progenitor Star for a Type Ic Supernova” // The Astrophysical Journal, 2019 Vol.871, Is.2, article id. 176, 20 pp. (№1. Web of Science IF=5,521).

5. W. Lin, X. Wang, W.Li, J. Zhang, J. Mo, H. Sai, X. Zhang, A.Filippenko, W. Zheng, T. Brink, E. Baron, J. DerKacy, S. Ehgamberdiev, D. Mirzaqulov, Li, X.; Zhang, J. C.; Yan, S. Y.; Xi, G. B.; Hsiao, Y.; Zhang, T. M.; Wang, L. J.; Liu, L. D.; Xiang, D. F.; Wu, C. Y.; Rui, L. M.; Chen, Z. H. “SN 2018hti: A Nearby Superluminous Supernova Discovered in a Metal-poor Galaxy” // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2020. Volume 497, Issue 1, pp.318-335. (№1. Web of Science IF=5,235).

6. Hanna Sai, Xiaofeng Wang, Jianfeng Wu, Jie Lin, Tianmeng Zhang, Wenxiong Li, Jujia Zhang, Jun Mo, Tianrui Sun, Davron Mirzaqulov, Shuhrat A. Ehgamberdiev, Rui, Liming; Lin, Weili; Zhao, Xulin; Lin, Han; Zhang, Jicheng; Zhang, Xinghan; Zhao, Yong; Li, Xue; Xiang, Danfeng; Wang, Lingzhi; Wu, Chengyuan “Optical and Ultraviolet Monitoring of the Black Hole X-ray Binary MAXI J1820+070/ASASSN-18ey for 18 Months” // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 504, Issue 3, 2021, Pages 4226–4241. (№1. Web of Science IF=5,235).

7. Xiang, Danfeng; Wang, Xiaofeng; Lin, Weili; Mo, Jun; Lin, Han; Burke, Jamison; Hiramatsu, Daichi; McCully, Curtis; Valenti, Stefan; Vinkó, József; Wheeler, J. Craig; Ehgamberdiev, Shuhrat A.; Mirzaqulov, Davron; Bódi, Attila; Cseh, Borbála; Hanyecz, Ottó; Könyves-Tóth, Réka; Kriskovics, Levente; Ordasi, András; Pál, András; Sai, Hanna; Li, Wenxiong “The Peculiar Transient AT2018cow: A Possible Origin of a Type Ibn/IIn Supernova” // The Astrophysical Journal, 2021, Volume 910, Issue 1, id.42, 12 pp. (№1. Web of Science IF=5,521).

8. Gaobo Xi, Xiaofeng Wang, Wenxiong Li, Jun Mo, Jujia Zhang, Jialian Liu, Zhihao Chen, Alexei V. Filippenko, Weikang Zheng, Thomas G. Brink, Xinghan Zhang, Hanna Sai, Shuhrat A. Ehgamberdiev, Davron Mirzaqulov, and Jicheng Zhang “SN 2019ein: A Type Ia Supernova that Likely Originated from a Sub-Chandrasekhar-Mass Explosion” Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 517, Issue 3, pp.4098-4118. 2022. (№1. Web of Science IF=5,235).

9. Lim, Gu; Im, Myungshin; Paek, Gregory S. H.; Yoon, Sung-Chul; Choi, Changsu; Kim, Sophia; Wheeler, J. Craig; Thomas, Benjamin P.; Vinkó, József; Kim, Dohyeong; Kim, Taewoo; Sung, Hyun-Il; Yoon, Joh-Na; Kim, Haeun; Kim, Jeongmook; Bae, Hana; Ehgamberdiev, Shuhrat; Burhonov, Otabek; Mirzaqulov, Davron “The Early Light Curve of a Type Ia Supernova 2021hpr in NGC 3147: Progenitor Constraints with the Companion Interaction Model” // The Astrophysical Journal, 2023. Volume 949, Issue 1, id.33, 18 pp. (№1. Web of Science IF=5,521).

10. Weili Lin, Xiaofeng Wang, Lin Yan, Avishay Gal-Yam, Jun Mo, Danfeng Xiang, Ragnhild Lunnan, Davron Mirzaqulov, Shuhrat A. Ehgamberdiev, Alexei V. Filippenko, Weikang Zheng, Thomas G. Brink, Mansi Kasliwal, Lin, Han; Zhang, Kaicheng; Zhang, Jicheng; Yan, Shengyu; Zhang, Jujia; Chen, Zhihao; Deng, Licai; Wang, Kun; Xiao, Lin; Wang, Lingjun. “A superluminous supernova lightened by collisions with pulsational pair-instability shells” // Nature Astronomy, 2023. Volume 7, pages779–789. (№1. Web of Science IF=15,647).

II бўлим (part II; II часть)

11. Tadjimuratov, P. and Mirzakulov, D. “SN2017ein: bolometric light curve and physical parameters” // Physical Sciences and Technology, Kazakhstan, V4, №1,2018,15-19.

12. Д. Мирзакулов, Гу Лим “SN 2019ein Ia типидagi ўта янги юлдузининг фотометрик тадқиқоти” // «XXI АСР – ИНТЕЛЛЕКТУАЛ ЁШЛАР АСРИ» мавзусидаги Республика илмий ва илмий-назарий анжумани Respublika yosh olimlar konferensiyasi. 27 май 2022, Тошкент. Ёш олимлар ахборотномаси, №1 (4) 2022, 61-63.

13. Д. Мирзакулов «КРИВЫЕ БЛЕСКА СВЕРХНОВОЙ ТИПА II-P SN 2017EAW» // «XXI АСР – ИНТЕЛЛЕКТУАЛ ЁШЛАР АСРИ» мавзусидаги Республика илмий ва илмий-назарий анжумани Respublika yosh olimlar konferensiyasi. 25 май 2023, Тошкент. Ёш олимлар ахборотномаси, №4 (2) 2023, 11-15.

14. Д.О. Мирзакулов, Ш.А. Эгамбердиев, Б.Ш. Жураев “Сверхновая звезда SN 2017ein в галактике NGC 3938” // Улутбек астрономия мактаби ва

унинг жаҳон илм-фани тараққиётидаги ўрни конференцияси, Самарканд, июнь 2018, 51-53 б.

15. D. Mirzaqulov, Sh. Ehgamberdiev // “Monitoring of SN explosions at Maidanak Observatory” 6th Maidanak Users Meeting (MUM) November 1-3, 2021. Tashkent, Uzbekistan.

16. D.O. Mirzaqulov “Observation and data reduction of Supernovas” // “Sixth International Xinglong Astrophysics Training Workshop for observation and data reduction. August 1-10, 2016. Beijing, China.

17. D.O. Mirzaqulov, Sh.A. Ehgamberdiev, C.M. Raiteri, M. Villata “Optical photometric observations of Supernova at Maidanak observatory” // The 12th Asia-Pacific Regional the International Astronomical Union Meeting, August 18-22, 2014, Daejeon, Korea. P4-52.

Avtoreferat “Iqtisod va moliya” nashriyotida tahrirdan o‘tkazildi.

Bosishga ruxsat etildi: 14.09.2023.
Bichimi: 60x84 1/8 «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3,5. Adadi: 100. Buyurtma: № 118.
«DAVR MATBUOT SAVDO» MChJ
bosmaxonasida chop etildi.
100198, Toshkent, Qo‘yliq, 4-mavze, 46.