

# ODKRIVANJE SPREMENLJIVIH IZVOROV S ŠIROKOKOTNIMI PREGLEDI NEBA

KATJA BRICMAN

Fakulteta za matematiko in fiziko  
Univerza v Ljubljani

Izvorom na nebu se lahko zaradi različnih fizikalnih procesov spreminja svetlost in jih posledično opazimo kot spremenljivi ali nov vir svetlobe na nebu. Spremenljivost je tako v času kot v svetlosti odvisna od tipa izvora, ki ga opazujemo, v glavnem pa jih ločimo na spremenljive zvezde in visokoenergijske izvore. S širokokotnimi pregledi neba, ki v krajših časovnih razmakih večkrat poslikajo isti del neba, je odkrivanje spremenljivih izvorov postalo vse bolj pogosta in zanimiva tema astrofizike. V članku so predstavljeni različni tipi spremenljivih izvorov in nekaj pomembnejših teleskopov, namenjenih širokokotnim pregledom neba.

## TRANSIENT DETECTION WITH SKY SURVEY TELESCOPES

Astrophysical objects can change their brightness due to different physical processes, and can therefore be detected as variable or new light sources in the sky. Variability differs in both time and brightness from one source to another, however variable sources or transients can be divided into two groups: variable stars and high-energy objects. Sky survey telescopes, which cover the same part of the sky in short time intervals, made the detection of transients an interesting topic in astrophysics. In this article different types of transients are presented, followed by a description of a few notable sky survey telescopes.

### 1. Uvod

Nebo ni nespremenljivo, temveč so spremembe, ki jih lahko opazimo na nebu, vidne že v zelo kratkem času. Spremenljivi ali tranzientni izvori so razne spremenljive zvezde, pogosto pa gre za kakšne nenadne eksplozije, ki spremenijo izsev opazovanega objekta. Do sprememb v svetlosti izvora lahko pride tudi zaradi geometrije sistema več objektov (večzvezdni sistemi, prehodi planetov prek površine zvezde), objektu pa se lahko svetlost spremeni tudi, če se med opazovalcem in izvorom nahaja masiven objekt, v bližini katerega se pot svetlobe z izvora ukrivi.

Med najbolj zanimivimi tranzientnimi dogodki za proučevanje so tisti, pri katerih so spremembe v svetlosti posledice kakšnih zanimivih, še manj znanih fizikalnih procesov, kot so na primer razni akrecijski procesi, izbruhi zvezdne atmosfere v okoliški medij, eksplozije in zlitja masivnih zvezd, izbruhi sevanja gama, raztrganje zvezde v bližini črne luknje ... Z opazovanjem teh dogodkov lahko preučujemo procese, ki jih na Zemlji ne moremo, hkrati pa lahko izvemo veliko novega o zgodnjem vesolju in razvoju različnih zvezd [1].

Vse bolj aktualni postajajo širokokotni pregledi neba, ki večkrat v kratkih časovnih razmakih poslikajo isti del neba in s tem omogočajo odkrivanje tranzientnih dogodkov. Zaporedne posnetke avtomatizirani sistemi med seboj primerjajo in če se pojavi kakšen nov vir svetlobe, ga skušajo s pomočjo fotometričnih meritev in svetlobnih krivulj klasificirati. Nekatere objekte je lažje klasificirati, ker imajo značilne in že znane svetlobne krivulje, nekatere pa mnogo težje. Med najbolj zanimive objekte, ki jih opazujejo teleskopi namenjeni širokokotnim pregledom neba, spadajo supernove, kataklizmične spremenljivke, spremenljive zvezde, dogodki, povezani z gravitacijskim lečenjem ter optični zasiji izbruhov sevanja gama [2].

### 2. Vrste spremenljivih izvorov

#### 2.1 Spremenljive zvezde

Spremenljivi objekti, ki jih identificiramo v lokalnem vesolju, torej v naši ali bližnjih galaksijah, so tipično spremenljive zvezde. Nekateri objekti pa se zdijo spremenljivi samo zaradi geometrije (npr.

sistemi z več objekti) ali zaradi gravitacijskega lečenja, pri čemer se zaradi masivnega objekta, ki leži med opazovanim objektom in Zemljo, opazovanemu objektu začasno poveča svetlost [3].

### 2.1.1 Utripajoče spremenljivke

Utripajoče spremenljivke so najbolj pogoste periodične spremenljivke, ki jih najdemo na HR diagramu. Med njimi so najpomembnejše RR Lyre in kefeide, ki jih lahko zaradi zveze med periodo in izsevom uporabimo za merjenje razdalj v naši in do bližnjih galaksij. S tem lahko preučujemo strukturo Galaksije [1].

### 2.1.2 Zvezde na asimptotični veji orjakinj

Na asimptotični veji orjakinj HR diagrama se nahajajo zvezde z jedrom večinoma iz ogljika in kisika. V zunanjih plasteh poteka zlivanje vodika, v tanki plasti okoli jedra pa poteka zlivanje helija, ki pa je nestabilno. V lupinah prihaja do helijevih blišče, zaradi katerih je zvezda spremenljiva. Med takšne zvezde spadajo spremenljivke tipa Mira.

Zvezde na asimptotični veji orjakinj so svetle, nestabilne in izgubljajo maso. Vse zvezde z majhno in srednjo maso naj bi šle skozi to fazo razvoja. Z opazovanjem zvezd na asimptotični veji orjakinj lahko preučujemo razvoj zvezdnih populacij [1].

### 2.1.3 Spremenljivke tipa R Coronae Borealis (R CrB)

R CrB spremenljivke so redke nadorjakinje spektralnega tipa F ali G, ki vsebujejo veliko ogljika in malo vodika. Nastale naj bi z zlitjem dveh belih pritlikavk. Zanje so značilni nenadni in neperiodični padci svetlosti za 9 magnitud. Padce magnitude naj bi povzročala kondenzacija ogljika v prah v atmosferi, kar prepreči svetlobi, da bi ušla iz zvezde [4]. "Temno" stanje traja od nekaj dni do nekaj let. Potem se zvezdi počasi spremeni magnituda na prvotno vrednost [2].

### 2.1.4 Mladi zvezdni objekti

Velika spremenljivost mladih zvezdnih objektov je posledica hitre rotacije, variacij v izsevu, prašnih oblakov, ki krožijo okoli objektov, akrecije, izbruhov, magnetnih polj ter možnih spremljevalk v dvojnih zvezdnih sistemih [5].

Med mlade objekte spadajo zvezde tipa T Tauri, ki so stare manj kot  $10^7$  let in imajo maso manjšo od treh mas Sonca. Te zvezde še niso na glavni veji HR diagrama. Zaradi akrecije okoliškega materiala, se jim spreminja svetlost do 5 magnitud v nekaj dneh.

Med mlade objekte spadajo tudi redke zvezde tipa FU Ori in EX Lup, ki so nestabilne zvezde pred prihodom na glavno vejo. Na dolgih časovnih skalah se jim spremeni svetlost za nekaj magnitud, kažejo pa tudi spremenljivost v rentgenskem delu spektra [2].

### 2.1.5 Svetle rdeče nove

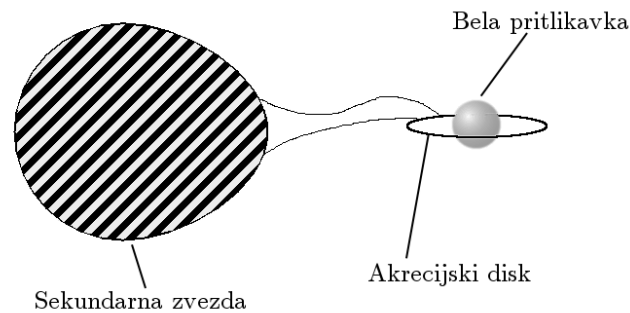
Svetle rdeče nove kažejo izbruhe, ki se razvijajo počasi, od nekaj tednov do nekaj mesecev, veliko svetlobe pa oddajo pri daljših (rdečih) valovnih dolžinah. Kaj točno te izbruhe povzroči, še ni znano, obstaja pa več možnih modelov, s katerimi lahko pojasnimo izbruhe. Med možne scenarije spadajo: zlitje dveh zvezd, eksplozija masivne zvezde podobne supernovi, nenavadna nova ali planet, ki pada v zvezdo [1].

Pomemben vzrok, zaradi katerega izbruhov ne znamo dobro pojasniti, je majhno število odkritih svetlih rdečih nov (trenutno manj kot 10). Med njih spada objekt V838 Monocerotis, odkrit leta 2002, v katerem naj bi šlo za zlitje dveh zvezd [6].

### 2.1.6 Katakliizmične spremenljivke

Katakliizmične spremenljivke so tesni dvojni zvezdni sistemi, v katerih snov z donorske zvezde, ki je tipično zvezda glavne veje HR diagrama z maso, manjšo od ene mase Sonca, pada na belo pritlikavko, zvezdo z največ 1,4 masami Sonca. Okoli kompaktne bele pritlikavke lahko nastane akrecijski disk, prek katerega snov pada nanjo. Če ima bela pritlikavka zadostno magnetno polje, lahko snov pada kar direktno na pola magnetnega polja in akrecijski disk ne nastane [1]. Shema sistema je prikazana na sliki 1. Sistemi so spremenljivi, ker se ob padcu snovi na belo pritlikavko sprosti veliko

#### Katakliizmična spremenljivka

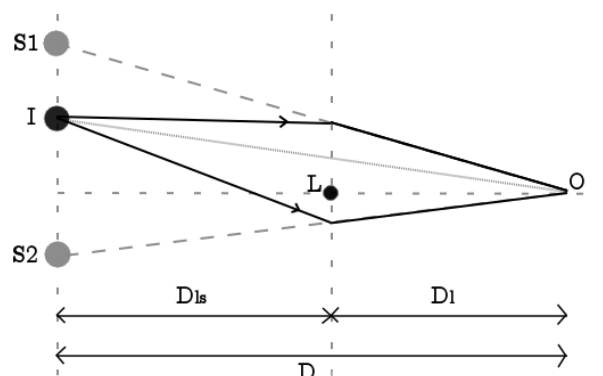


Slika 1. Shematski prikaz sistema katakliizmične spremenljivke [7].

energije, zato se sistemu zmanjša navidezna magnituda. Masni tok snovi iz akrecijskega diska na belo pritlikavko ni konstanten, prav tako se pri celotnem procesu s časom spreminja struktura objekta, zato so tudi spremembe magnitude časovno spremenljive. Na spremembe v svetlosti vplivajo tudi različni fizikalni procesi v akrecijskem disku [2].

### 2.1.7 Gravitacijsko lečenje

Svetloba z oddaljenega izvora se ukrivi na poti mimo masivnega objekta (npr. masivne zvezde ali galaksije), ki se nahaja med opazovalcem in izvorom. Temu masivnemu objektu pravimo leča. Geometrija sistema izvor-leča-opazovalec je prikazana na sliki 2.



Slika 2. Geometrija pri gravitacijskem lečenju. Svetloba z izvora I se ukrivi na poti mimo masivnega objekta oziroma leče L. Zaradi tega opazovalec O vidi dve sliki  $S_1$  in  $S_2$ .  $D_1$  je razdalja med lečo in opazovalcem,  $D$  med opazovalcem in izvorom,  $D_{1s}$  pa je razdalja med lečo in izvorom [8].

Gravitacijsko lečenje popači sliko objekta in jo naredi večjo, kot bi bila, če bi objekt opazovali v času, ko med njim in nami ni leče. Zato se spremeni svetlost objekta, tipično za 0,1 do 10 magnitud. Časovne spremembe v svetlosti so odvisne od mase in velikosti leče ter so posledica relativnega gibanja izvora, leče in opazovalca [1]. Če je leča masivna zvezda, so spremembe tipično vidne na časovni skali nekaj ur, če pa je leča neka galaksija, se svetlost spreminja na časovni skali nekaj tednov.

Z gravitacijskim lečenjem lahko poleg objektov v lokalnem vesolju zaznamo tudi zelo oddaljene izvore, ki jih drugače ne vidimo. Izvori so tipično oddaljene galaksije ali kvazarji, leča pa je kakšna galaksija ali jata galaksij, ki se nahaja med opazovalcem in izvorom.

Z lečenjem bi lahko pridobili pomembne podatke o oddaljenih zvezdnih populacijah, saj lahko pri pojavu preučujemo tako izvor kot tudi lečo. Lečenje pa je občutljivo tudi na planete okoli zvezde, ki leči izvor, zato lahko z njim odkrivamo manj masivne planete in planete, ki so bolj oddaljeni od svoje zvezde.

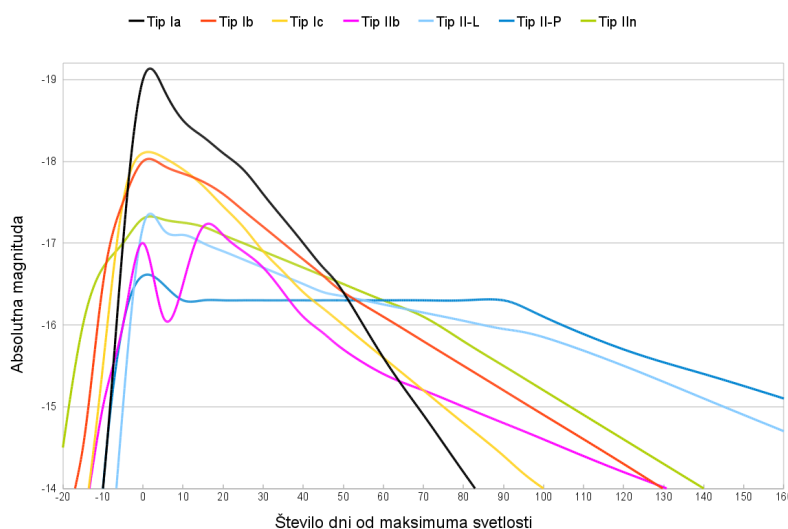
## 2.2 Visokoenergijski izvori

Visokoenergijski spremenljivi izvori se večinoma nahajajo v zelo oddaljenih galaksijah na kozmoloških razdaljah. Objekt v oddaljeni galaksiji začne zaradi nekega dogodka, pri katerem se sprosti ogromno energije, oddajati veliko svetlobe, potem pa njegova svetlost s časom pojema. Takšni dogodki so na primer eksplozije ob koncu življenja masivnih zvezd ali pa zlitje dveh masivnih objektov. Pred visokoenergijskim dogodkom objekta na nebu po navadi ne vidimo [3].

Z opazovanjem takšnih dogodkov, ki potekajo v zelo živahnih okoliščinah, imamo dobre možnosti za preučevanje fizikalnih zakonov v ekstremnih fizikalnih pogojih, kot so zelo močna gravitacija, zelo visoke temperature, akrecija ter močna magnetna polja [5].

### 2.2.1 Supernove

Supernove so eksplozije zelo masivnih zvezd. Poznamo več tipov supernov, prepoznamo pa jih po značilnih svetlobnih krivuljah, ki jih prikazuje slika 3. Vrh svetlobne krivulje oziroma maksimum svetlosti je močno odvisen od vrste zvezde, ki je eksplodirala [1].



Slika 3. Svetlobne krivulje različnih tipov supernov [9].

**Supernova tipa Ia** se zgodi v dvojnih sistemih, v katerih je ena od zvezd bela pritlikavka, ki zaradi prenosa mase s spremljevalne zvezde doseže največjo možno (Chandrasekharjevo) maso in

eksplozira. Supernove tipa Ia so standardni svetilniki, saj imajo pri eksploziji vse enako absolutno magnitudo. Z opazovanjem navidezne magnitude supernov tipa Ia lahko izmerimo razdaljo do galaksije, v kateri se je eksplozija zgodila.

“**Core-collapse**” supernove tipov II, Ib in Ic nastanejo, ko v jedru zelo masivne zvezde zmanjka elementov, s katerimi bi lahko potekale eksotermne jedrske reakcije. Jedro se skrči na nekaj 10 km, pri tem pa se sprosti ogromno gravitacijske energije. Po eksploziji ostane nevtronska zvezda ali črna luknja. “Core-collapse” supernove so pomembne za razumevanje končnih faz življenja masivnih zvezd in nastanka nevtronskih zvezd ter črnih lukenj.

“**Pair-Instability supernove**” nastanejo predvidoma pri smrti prvih zvezd, ki so nastale v vesolju. Te zvezde so zelo masivne (150 mas Sonca) in imajo majhno kovinskost, zato jih pričakujemo pri rdečih premikih  $z > 5^1$  [1].

### 2.2.2 Izbruhi sevanja gama

Izbruhi sevanja gama so najmočnejše odkrite eksplozije v vesolju, ki nastanejo v zelo oddaljenih galaksijah. Eksplozije so tako močne, da jih lahko vidimo vse do rdečega premika  $z=9$  [10]. Z opazovanjem izbruhov sevanja gama lahko preučujemo zvezde, ki so nastale kmalu po nastanku vesolja. Nekaj ur ali dni po samem izbruhu gama žarkov lahko na mestu eksplozije pogosto opazimo izvor v vidnem delu spektra, ki mu pravimo zasij izbruha sevanja gama. Zasije lahko opazujemo več dni.

Obstajata dva tipa nastanka izbruhov sevanja gama. Dolgi izbruhi trajajo med 2 in 100 sekundami in nastanejo pri “super” supernovi, eksploziji masivne zvezde, ki se zelo hitro vrtili. Kratki izbruhi sevanja gama trajajo manj kot 2 sekundi in nastanejo pri zlitju dveh kompaktnih objektov, na primer nevtronskih zvezd ali nevtronske zvezde in črne luknje.

Eksplozije niso sferično simetrične, ampak so v obliki dveh nasproti usmerjenih curkov, ki potujeta s svetlobno hitrostjo. Kako je eksplozija videti, je odvisno od tega, kje se nahaja opazovalec. Opazovalec, ki je na isti osi kot curka, vidi emisijo sevanja gama in zasij v optičnih valovnih dolžinah. Opazovalec, ki ni na osi curka, začetnega sevanja gama ne vidi, lahko pa vidi zasij sirote v optičnem delu spektra, saj se, zaradi upočasnjevanja relativističnega curka v okoliškem mediju in relativistične aberacije svetlobe, začetni snop svetlobe razširi in opazovalec počasi vidi svetlobo iz vse večjega dela curka [1]. Zasiji sirote do zdaj še niso bili opaženi.

### 2.2.3 Aktivna galaktična jedra

V središču aktivnih galaksij se nahajajo supermasivne črne luknje, ki požirajo snov iz akrecijskega diska okoli jedra galaksije. Izsev jeder je spremenljiv, in sicer na časovnih skalah od nekaj ur do mesecev. Aktivna galaktična jedra so tako svetla, da jih lahko opazujemo tudi do  $z=7$ , kar pomeni, da gledamo v zelo zgodnje vesolje [5].

### 2.2.4 Plimski blišči

Plimski blišči so pojavi, ki jih lahko opazujemo v središču galaksije. Zvezdo, ki pride zelo blizu supermasivni črni luknji, močno gravitacijsko polje črne luknje raztrga [11].

Raztrganje se zgodi, če se zvezda približa črni luknji na razdaljo, manjšo od Rochevega radija  $r_R$

$$r_R = \left( \frac{M_{\text{BH}}}{m_*} \right)^{1/3} r_*, \quad (1)$$

<sup>1</sup>Z rdečim premikom  $z$  merimo kozmološke razdalje v vesolju, ker se zaradi širjenja vesolja svetloba z zelo oddaljenih objektov pomakne proti daljšim valovnim dolžinam;  $z+1 = \lambda_o/\lambda_e$ , kjer je  $\lambda_o$  opazovana valovna dolžina,  $\lambda_e$  pa valovna dolžina, ki jo je izvor oddal.

kjer je  $M_{\text{BH}}$  je masa črne luknje,  $m_*$  in  $r_*$  pa masa in radij zvezde. Hkrati mora biti ta razdalja večja od Schwarzschildovega radija črne luknje  $r_{\text{Sch}}$

$$r_{\text{Sch}} = \frac{2GM_{\text{BH}}}{c^2}, \quad (2)$$

kjer je  $G$  je gravitacijska konstanta,  $c$  pa hitrost svetlobe. Pogoji za raztrganje je torej

$$\left(\frac{M_{\text{BH}}}{m_*}\right)^{1/3} r_* > \frac{2GM_{\text{BH}}}{c^2}, \quad (3)$$

iz česar sledi, da lahko Soncu podobno zvezdo raztrga črna luknja z maso med  $10^6$  in  $10^8$  masami Sonca, medtem ko je masivnejše črne luknje ( $> 10^9$  mas Sonca) ne raztrgajo [12].

### 3. Širokokotni pregledi neba

V astronomiji so vse bolj aktualni širokokotni pregledi neba, ki so odlični za odkrivanje tranzientnih dogodkov. Teleskopi poslikajo isti del neba večkrat, iz primerjave posnetkov pa lahko astronomi ugotovijo, če se je na posnetku pojavil kakšen nov vir svetlobe. Na tak način lahko odkrivamo tudi dogodke, ki se razvijajo zelo hitro. Za klasifikacijo novo odkritih dogodkov je pomembno tudi, v katerem območju valovnih dolžin oziroma v katerih filtrih [13] teleskopi opazujejo.

Ključni tehnološki izziv odkrivanja spremenljivih izvorov s širokokotnimi pregledi neba je avtomatska klasifikacija dogodkov. Po odkritju se je treba namreč odločiti, katerim objektom je vredno slediti, zato jih je potrebno klasificirati, torej določiti v kateri razred spremenljivih izvorov spadajo. Te podatke potem dobijo različne raziskovalne skupine, ki izberejo dogodke, ki jih želijo opazovati. Poleg klasifikacije je pomembno, da celoten sistem deluje optimalno. Zato je treba poskrbeti, da so posnetki kvalitetni in fotometrično ter astrometrično natančni, da objekti na posnetkih niso presvetljeni, potrebno pa je poskrbeti tudi za hitro obdelavo in dostopnost podatkov [14].

V tem poglavju je predstavljenih nekaj pomembnejših teleskopov namenjenih iskanju tranzientnih dogodkov, njihove glavne karakteristike pa so prikazane v tabeli 1.

Teleskop	Velikost primarnega zrcala	Velikost zornega polja [deg <sup>2</sup> ]	Pokritost neba na noč [deg <sup>2</sup> ]	Kadenca (naslednje opazovanje istega polja)	Limitna magnituda	Filtri
Pan-STARRS	štirje teleskopi s premeri 1,8 m	4×7	6000	7 dni	24	g, r, i, z
CRTS	tri teleskopi s premeri 1,5 m, 0,68 m in 0,5 m	2,8, 1,2 in 2	2000	10 min - 7 let	21,5	v
PTF	premer 1,2 m	7,8	1000	1 min - 5 dni	20,5	r, g
Gaia	dva teleskopa 1,45 m×0,5 m	2×0,7	2000	30 - 70 dni	20	g
LSST	premer 8,36 m	9,6	3300	3 dni	27,5	u, g, r, i, z, y

**Tabela 1.** Glavne lastnosti teleskopov namenjenih širokokotnim pregledom neba. Enota deg<sup>2</sup> je kvadratna ločna stopinja.

### 3.1 Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System (Pan-STARRS)

Pan-STARRS sestavljajo štiri teleskopi na Havajih, ki iščejo spremenljive izvore že od leta 2010. Prvotni cilj projekta je odkrivanje in karakterizacija objektov, ki se približujejo Zemlji in bi lahko ogrozili naš planet. Široko polje in večkratni posnetki istega polja v kratkem času pa omogočajo tudi iskanje ostalih tranzientnih dogodkov izven Sončevega sistema.

Pan-STARRS opazuje milijarde zvezd na severni nebesni polobli. Odkriva spremenljive zvezde, prekrivajoče dvojnice, kataklizmične spremenljivke, dogodke povezane z gravitacijskim lečenjem, kefeide in RR Lyre [5].

Med pomembnejša odkritja sodijo: C/2011 L4 komet [15], ki je bil s prostim očesom viden marca 2013; PS1-10afx "super" svetla supernova z majhno vsebnostjo vodika [16] in PS1-10jh plimski blišč zvezde [17].

### 3.2 Catalina Real-Time Sky Survey (CRTS)

CRTS je namenjen širokokotnim pregledom neba in iskanju tranzientnih dogodkov. Sistem deluje od leta 2007, sestavljajo pa ga trije teleskopi, dva v Arizoni in eden v Avstraliji. Večino neba sistem poslika vsaj enkrat v mesecu dni. CRTS posname štiri slike istega polja, ekspozicije pa so ločene za 10 minut.

Čeprav so odkritja dogodkov in njihova klasifikacija avtomatizirani, podatki pa so javni (dostopni na SkyAlert, VOEventNet) največji problem ostaja sledenje tranzientnim dogodkom. Največ podatkov o novo odkritih dogodkih dobimo predvsem iz spektroskopskih opazovanj, ki sledijo odkritju. Zaradi velikega števila tranzientov in majhnega števila teleskopov, ki bi dogodkom lahko sledili, pa je to precej težka naloga [18].

CRTS je do sedaj opazoval vsaj 2400 supernov, 1200 kataklizmičnih spremenljivk, 3200 aktivnih galaktičnih jeder, 600 asteroidov in 1600 ostalih tranzientov.

### 3.3 Palomar Transient Factory (PTF)

PTF je avtomatiziran teleskop namenjen širokokotnim pregledom neba. Postavljen je na observatoriju Palomar v bližini San Diega in deluje od leta 2009.

PTF je v veliki meri namenjen iskanju novih, še ne odkritih, a teoretično napovedanih tranzientnih dogodkov, kot so zasilni izbruhovi sevanja gama in dogodkov, o katerih še ne vemo veliko (svetle rdeče nove, plimski blišči). Trenutno odkrije približno 1000 tranzientov različnih vrst na leto [11].

### 3.4 Gaia

Gaia je misija Evropske vesoljske agencije, katere glavni cilj je pridobiti zelo natančne astrometrične podatke (pozicijo, paralakso in lastno gibanje) za milijardo najsvetlejših objektov na nebu. Ti podatki, skupaj s fotometrijo v različnih barvnih filtrih, svetlobnimi krivuljami objektov in spektroskopskimi podatki, bodo omogočili astronomom rekonstrukcijo nastanka, strukture in razvoja Galaksije. Gaia je namenjen tudi pregledom neba, poleg slike objekta in svetlobne krivulje posname tudi nizko-resolucijski spekter vsakega objekta.

Satelit Gaia je bil izstreljen decembra 2013 in kroži okoli druge Lagrangeeve točke sistema Sonce-Zemlja. Primarni zrcali teleskopa sta pod kotom  $106,5^{\circ}$ , zato ima dve vidni polji [19]. Vsako vidno polje je pri posameznem opazovanju posneto dvakrat v časovnem razmaku dveh ur. Z dvema posnetkoma dobimo dve točki na svetlobni krivulji.

Satelit Gaia bo celotno nebo opazoval 5 let, pri čemer bo odkril veliko tranzientnih in nenavadnih dogodkov. Gaia Science Alerts je sistem, ki je odgovoren za detekcijo in klasifikacijo tranzientnih dogodkov. Sistem opozarja na novo odkrite dogodke, tako da jim lahko raziskovalne skupine sledijo.

Opozorila vsebujejo koordinate, sliko objekta, nizko-resolucijski spekter in svetlobno krivuljo. Satelit Gaia naj bi v svojem petletnem delovanju našel okoli 6000 supernov, več kot 3000 dogodkov, povezanih z gravitacijskim lečenjem, okoli 250000 asteroidov in kometov, 3000 R CrB zvezd, 10000 eksoplanetov velikosti Jupitra, 500000 aktivnih galaktičnih jeder ter veliko število ostalih spremenljivih zvezd. Pričakovana vrednost odkritih zasijev izbruhov sevanja gama ni velika. Odkril naj bi okoli 15 zasijev sirote izbruhov sevanja gama [19].

### 3.5 Large Synoptic Survey Telescope (LSST)

Teleskop LSST bo opravljaj širokokotne preglede neba in v nekaj nočeh poslikal celotno vidno nebo. Pričakovano je, da bo svoje 10 letno delovanje v Čilu pričel januarja 2022.

V primarnem gorišču teleskopa bo digitalna kamera s 3,2 gigapiksli, ki bo zajela po dve 15 sekundni ekspoziciji vidnega polja vsakih 60 minut. S teleskopom bomo dobili okoli 200000 posnetkov na leto ali 1,28 petabytov podatkov na leto. Velika količina podatkov bo verjetno največja težava projekta. Glavni znanstveni cilji LSST-ja so meritve šibkega gravitacijskega lečenja pri oddaljenih objektih, s katerimi bi lahko opazili temno snov, kartiranje manjših objektov v Sončevem sistemu, opazovanje optičnih tranzientnih dogodkov ter kartiranje Galaksije. Vsako noč naj bi našel med 10 in 1000 tranzientnih dogodkov. Ob ogromni količini podatkov bi lahko po naključju odkrili tudi kakšno novo, še neznano vrsto objektov [20].

LSST naj bi odkril okoli 20000 eksoplanetov velikosti Jupitra, 50000 zelo oddaljenih supernov in 10 milijonov kvazarjev, od tega 10000 pri rdečem premiku med 6 in 7,5. Opazoval bo lahko tudi hitre tranzientne izvore, kot so optični zasiji izbruhov sevanja gama do rdečega premika  $z \sim 7,5$ . Opazoval bo zgodnje zasije, močne pulze s pulzarjev in blišče z rentgenskih pulzarjev. Prav tako bi lahko odkril redke, eksotične objekte, kot so nevtronske zvezde, dvojni sistemi črnih lukenj, rentgenski blišči, plimski blišči in še kakšni novi objekti (na primer zlitje dveh črnih lukenj) [14].

Zelo pomembno bo sledenje odkritim tranzientnim dogodkom, predvsem tistim, ki so najbolj zanimivi. LSST bo takoj po odkritju posredoval obvestilo raziskovalnim skupinam, pomembna pa bodo nadaljnja opazovanja in klasifikacija.

## 4. Zaključek

V članku so predstavljeni različni tipi spremenljivih izvorov in eden od možnih načinov njihovega odkrivanja s širokokotnimi pregledi neba. Obstaja več tipov spremenljivih izvorov, ki se med seboj razlikujejo. Na različnih časovnih skalah se jim spreminja magnituda zaradi raznih procesov, ki se zgodijo v objektih samih ali pa v njihovih okoliceh.

Spremenljive so zvezde, izvoru se svetlost lahko spremeni, ker se nahaja v sistemu z več objekti, ki krožijo drug okrog drugega in prihaja do mrkov, zvezdi se zmanjša svetlost, če pred njo potuje planet, magnituda izvora se lahko spremeni tudi zaradi gravitacijskega lečenja, če se med nami in izvorom nahaja masiven objekt, ki ukrivi pot svetlobe z izvora. Poznamo pa tudi veliko bolj divje pojave, kot so eksplozije supernov, izbruhi sevanja gama in aktivna galaktična jedra, ki jih tipično opazujemo na zelo velikih razdaljah. To pa pomeni, da gledamo v zgodnje vesolje in posledično preučujemo vesolje kaj kmalu po njegovem nastanku. Tipično svetloba, ki jo oddajajo visoko-energijski izvori, interagira s snovjo, ki se nahaja okoli izvora. Tako lahko s spektroskopskimi meritvami opazujemo, v kakšnem mediju se ta svetloba absorbira in s tem sklepamo na sestavo mladih in oddaljenih galaksij, v katerih se visoko-energijski izvori nahajajo.

Širokokotni pregledi neba so odlični za iskanje spremenljivih izvorov, saj lahko v res kratkem času že vidimo, če se je na nebu pojavil kakšen nov izvor, oziroma če je kateri od prejšnjih že izginil. Tehnološko so to zahtevni projekti, hkrati pa morajo biti takšni teleskopi postavljeni na območjih s čim manj svetlobne onesnaženosti in čim več jasnih noči. Največji problem širokokotnih pregledov



neba je večkrat omenjena klasifikacija objektov. Trenutno ni nekega optimalnega avtomatiziranega sistema, ki bi dobro klasificiral odkrite objekte, zato si snovalci tovrstnih projektov skušajo pomagati z javnostjo. S pomočjo spletnih strani kot sta SkyAlert in VOEventNet skušajo spodbuditi ljudi, da bi pomagali pri klasifikaciji objektov in tako dobiti dober algoritem za avtomatizirano klasifikacijo spremenljivih izvorov.

S prihajajočim projektom LSST lahko pričakujemo veliko novo odkritih tranzientov, tako znanih kot morda še neznanih objektov. S tem lahko upamo, da bomo prišli do novih spoznanj o zgodnjem vesolju in njegovi strukturi.

## LITERATURA

- [1] LSST Science Collaborations and LSST Project 2009, *LSST Science Book* (2009), Version **2.0**, arXiv:0912.0201.
- [2] <http://www.ast.cam.ac.uk/iao/wikis/gsawgwiki/index.php/Triggers>, 17.9.2016.
- [3] <http://www.lsst.org/News/enews/changing-universe-1004.html>, 26.2.2015.
- [4] *Wikipedia*, [https://en.wikipedia.org/wiki/R\\_Coronae\\_Borealis](https://en.wikipedia.org/wiki/R_Coronae_Borealis), 17.9.2016.
- [5] <http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/home.html>, 26.2.2015.
- [6] Soker, Tylanda, *Modelling V838 Monocerotis as a Mergerburst Object*, The Nature of V838 Mon and its Light Echo ASP Conderence Series, V **363**, Astronomical Society of the Pacific (2007), 280-289.
- [7] *Wikipedia*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Cataclysmic\\_variable\\_star](https://en.wikipedia.org/wiki/Cataclysmic_variable_star), 17.9.2016.
- [8] *Wikipedia*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Einstein\\_radiush](https://en.wikipedia.org/wiki/Einstein_radiush), 17.9.2016.
- [9] *Wikipedia*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Supernova>, 27.2.2015.
- [10] Cucchiara et al., *A photometric redshift of  $z \sim 9,4$  for GRB 090429B*, The Astrophysical Journal, V **736**, Number 1 (2011).
- [11] Rau et al., *Exploring the optical transient sky with the Palomar transient factory*, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, V **121** (2009), I 886:1334-1351.
- [12] [http://ned.ipac.caltech.edu/level5/Combes4/Combes2\\_3.html](http://ned.ipac.caltech.edu/level5/Combes4/Combes2_3.html), 7.3.2015.
- [13] *Wikipedia*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Photometric\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Photometric_system), 17.9.2016.
- [14] Ivezić et al., *LSST: from Science Drivers to Reference Design and Anticipated Data Products*, A living LSST document (arXiv:0805.2366) version. **3.1** (2014).
- [15] Yang et al., *Multi-wavelength observations of comet C/2011 L4 (PAN-STARRS)*, The Astrophysical Journal Letters, V **784**, Number 2 (2014).
- [16] Chornock et al., *PS1-10afx at  $z=1.388$ : PAN-STARRS1 discovery of a new type of superluminous supernova*, The Astrophysical Journal, V **767**, Number 2 (2013).
- [17] Strubbe, Murray, *Insights into Tidal Disruption of Stars from PS1-10j*, MNRAS, **000** (2015), 1-26.
- [18] Mahabal et al., *Discovery, classification and scientific exploration of transient events from the Catalina Real-time Transient Survey*, Bull. Astron. Soc. India 39 (2011), 387-408.
- [19] J. Japelj, A. Gomboc, *Detectability of GRB Optical Afterglows with Gaia Satellite*, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, V **123** (2011), 1034-1043.
- [20] *Wikipedia*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Large\\_Synoptic\\_Survey\\_Telescope](http://en.wikipedia.org/wiki/Large_Synoptic_Survey_Telescope), 26.2.2015.