

# POVĚTROŇ

Královéhradecký astronomický časopis \* ročník 23 \* číslo 2/2015



SLOVO ÚVODEM. Druhý „loňský“ Povětroň je věnován druhému projektu, na němž jsme se spolu s kolegy Astronomického ústavu MFF UK podíleli v předminulých dvou letech. Krom toho Miloš Boček napsal detailní pojednání o velmi pozoruhodné supernově vzácného typu II<sub>n</sub>. Nakonec doplňujeme pravidelnou zprávu Martina Lehkého o pozorováních CCD i vizuálních.

Miroslav Brož

## Obsah

strana

Miroslav Brož, Josef Hanuš, Josef Ďurech, Martin Lehký, Martin Cholasta: <i>Robotická observatoř Blue Eye 600</i> . . . . .	3
Miloš Boček: <i>SN 2009ip: z podvodníka nejstudovanější supernovou II<sub>n</sub></i> . . . . .	16
Martin Lehký: <i>Zpráva o činnosti JST a HK25 za rok 2014</i> . . . . .	26
Martin Lehký: <i>Přehled vizuálních pozorování za rok 2014</i> . . . . .	28



**Titulní strana** — Robotická observatoř Blue Eye 600 vyvinutá firmou Projectsoft ve spolupráci s Astronomickým ústavem Univerzity Karlovy v Praze. Jedná se o kompletní observatoř, se samostatnou kopulí vlastní konstrukce, alt-azimutální montáží, světelným dalekohledem. Část zařízení je umístěna v odděleném kontejneru. V září 2014 byla instalována na observatoři Akademie věd České republiky v Ondřejově, a to poblíž Kosmické laboratoře. K článku na str. 3.

---

Povětroň 2/2015; Hradec Králové, 2015.

Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (2. 1. 2016 na 299. setkání ASHK)

ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**

vydání 1., 28 stran, náklad 100 ks; dvouměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213-659X

Redakce: Miroslav Brož, Miloš Boček, Martin Cholasta, Josef Kujal,

Martin Lehký, Lenka Trojanová a Miroslav Ouhrabka

Předplatné tištěné verze: vyřizuje redakce, cena 35,- Kč za číslo (včetně poštovního)

Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08; IČO: 64810828

e-mail: <[ashk@ashk.cz](mailto:ashk@ashk.cz)>, web: <<http://www.ashk.cz>>

# Robotická observatoř Blue Eye 600

Miroslav Brož, Josef Hanuš, Josef Ďurech, Martin Lehký, Martin Cholasta

Observatoř Blue Eye 600, jak ji vidíme na obr. 1, byla zkonstruována v letech 2013 až 2014. Během doby jsme měli tu čest spolupracovat s vícero kolegy, zejména se Zdenkem Bardonem, Tomášem Zemanem, Tomášem Turkem a Václavem Špačkem. V následujícím článku popíšeme, jaké úlohy jsme v rámci celého projektu řešili. Je ovšem nutné zdůraznit, že se jedná pouze o *menší* část, za kterou byl zodpovědný Astronomický ústav Matematicko–fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Většina tíhy konstrukce, výroby, elektroinstalace a programování ležela na firmě Projectsoft.



**Obr. 1** — Robotická observatoř Blue Eye 600, umístěná na radarové louce v Ondřejově.

Stavba observatoře byla podpořena grantem Technologické agentury České republiky (TAČR) „Vývoj technologií pro rychlé robotické observatoře a laserové komunikační systémy“, registračního čísla TA 03011171. Tato grantová agentura se zaměřuje na podporu spolupráce soukromých firem a univerzit. Proto byla hlavním řešitelem hradecká firma Projectsoft a spoluřešitelem MFF UK [3].

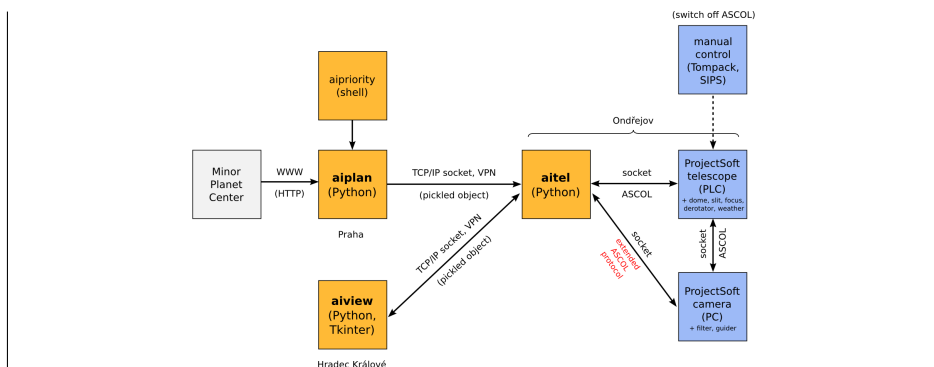
## Tvorba základních specifikací

\*

V rámci projektu byly nejprve vytvořeny specifikace požadovaných vysokoúrov-

ňových příkazů pro ovládání observatoře a jejich možných parametrů. Pro jeden blok pozorování jsme se rozhodli použít jako snadno představitelný grafický prvek „kostičku“.

Posléze byla navržena a prodiskutována základní architektura software pro ovládání dalekohledu. Vytvořily se části nazvané: Aitel<sup>1</sup>, Aiplan, Aiview, Projectsoft telescope a Projectsoft camera (viz zjednodušené schéma na obr. 2). Komunikace mezi softwarovými komponentami je zajištěna na bázi protokolu TCP/IP. Přenášet je možné příkazy nadřazeného protokolu ASCOL nebo serializované objekty (zejména kostičky popisující bloky pozorování). Toto uspořádání má mnoho výhod, například je možné provozovat jednotlivé komponenty na různých vzdálených počítačích, neboť komunikace probíhá transparentně přes internet, respektive zabezpečenou síť VPN.



**Obr. 2** — Koncepční schéma vysokoúrovňového software pro řízení autonomní observatoře. Základními komponentami jsou Aitel (výkonný software řídicí observatoř), Aiplan (automatický plánovač pozorování) a Aiview (grafické rozhraní pro manuální plánování pozorování a kontrolu). Aiplan využívá jako vstup skriptu Aipriority a aktuálních efemerid planetek z Minor Planet Center. Dále je na schématu naznačen i software nižší úrovně řízení (Projectsoft telescope a Projectsoft camera), který je povelován přes spojení TCP/IP příkazy dle protokolů ASCOL a MACOL. Při ladění bylo použito také manuální ovládání.

Dále jsme rozšířili specifikaci protokolu ASCOL tak, aby bylo možné do ovládání zahrnout dříve nepoužité prvky alt-azimutální montáže, derotátoru pole, kamery, filtrového kola aj.

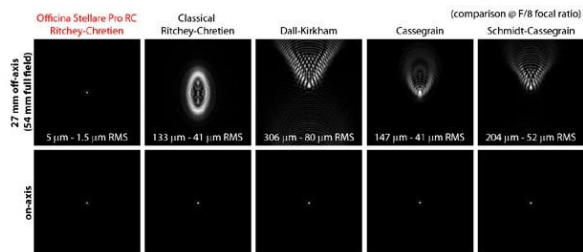
Důležitou částí byl včasný výběr optického systému dalekohledu (obr. 3), CCD kamery i dalších komponent (filtrového kola, derotátoru, kamery pro autoguidery;

<sup>1</sup> Název Aitel je zkratka ze slov Astronomical Institute TELelescope control program. Sice jsme na začátku dostali za úkol „nevymýšlet žádnou umělou inteligenci“, nýbrž spolehlivé ovládání pochopitelné pro uživatele, nicméně zkratku by bylo možné číst také jako Artificial Intelligence. . .

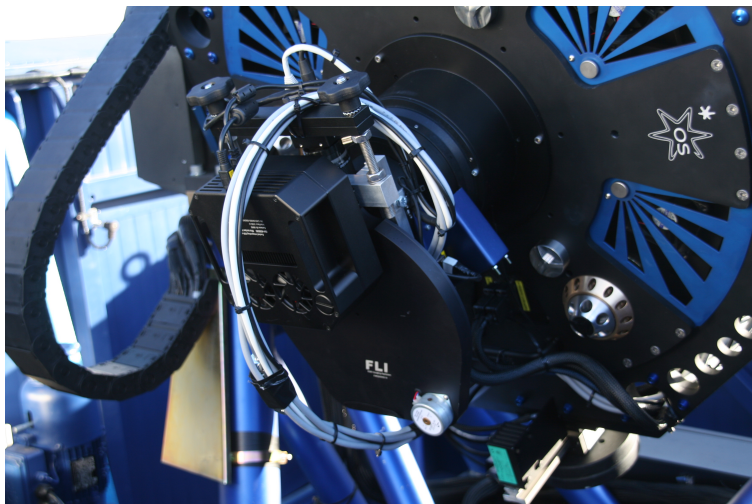
obr. 5), protože tyto jsou určující pro konstrukci observatoře, zejména montáže, ale samozřejmě ovlivňují i návrh software (pro některé komponenty bývá například nutná komunikace přes rozhraní USB).



**Obr. 3** — Dalekohled Officina Stellare Rila 600, s průměrem primárního zrcadla  $d = 600$  mm, ohniskovou vzdáleností  $f = 3000$  mm a optickým systémem Ritchey–Chrétien s tříčočkovým korektorem. Díky korekci obrazu kreslí v celém zorném poli na difrakčním limitu (viz obr 4); v praxi tedy bude rozhodovat seeing. V konstrukci dalekohledu je použito karbonu a hliníku.



**Obr. 4** — Aberace zvoleného optického systému Ritchey–Chrétien s korektorem v porovnání jinými (klasickými) optickými systémy. Dole je kresba obrazu hvězdy v ohniskové rovině na optické ose, nahoře kresba ve vzdálenosti 27 mm od osy.



**Obr. 5** — Sekundární ohnisko dalekohledu, ve kterém je umístěno ostření, derotátor (Rotofocuser), mimoosový guider s kamerou, filtrové kolo FLI, hlavní kamera Mii s čipem E2V 42–40.

## Strojně–mechanický návrh montáže

\*

Konstrukční návrh montáže se odvíjel od výběru dalekohledu. Dle rozměrů a hmotnosti tubusu byly stanoveny rozměry montáže, ze kterých vyplynuly přibližné hmotnosti jednotlivých komponent. Na základě těchto informací a podle požadovaného zrychlení byly vypočítány kroutící momenty potřebné pro pohyb dalekohledu. Byl zohledněn také vliv předpokládaného bočního větru v místě pozorování.

Pohonný systém je nejdůležitější částí montáže. Klasicky by se použily šnekové převody o velkém převodovém poměru. Ty však trpí některými problémy — malé dosažitelné rychlosti, nutnost složitě kompenzovat vůli v převodu, nízká účinnost, nutnost mazání apod. Z tohoto důvodu jsme se rozhodli pro velmi moderní řešení, a to použití přímých *momentových motorů*. Jde o motory, které pracují v oblasti malých otáček, ale velmi vysokých momentů. Motory jsou montovány přímo na hlavní hřídel, takže není nutný žádný další převodový stupeň.

Pro bezpečné zastavení v případě poruchy bylo nutné doplnit osy mechanickou brzdou, která zajišťuje osy v případě, že bude motor bez napájení, tedy i ve vypnutém stavu.

Základními parametry pro výběr motorů jsou maximální úhlová rychlost, kterou jsme stanovili na  $\omega = 45^\circ/\text{s}$ , a zrychlení  $d\omega/dt = 45^\circ/\text{s}^2$ . (Standardní dalekohledy přitom disponují mnohem nižšími rychlostmi, okolo  $2^\circ/\text{s}$ .) Při těchto

\*

parametrech je dalekohled schopen změnit polohu o  $180^\circ$  za asi 5 s, což je doba dostatečná pro i pozorování rychle vznikajících jevů, u kterých je nezbytné pozorovat vývoj v prvních sekundách či desítkách sekund.

Hladký pohyb dalekohledu zajišťují valivá ložiska. Pro vertikální pohyb dalekohledu, s ohledem na velikost navrženého momentového motoru, byla vybrána dvě radiální kuličková ložiska. Pro horizontální pohyb bylo vybráno přesné dvouřadé axiálně–radiální kuličkové ložisko.

K přesnému navádění a polohování dalekohledu byly navrženy do obou os montáže absolutní snímače polohy, které jsou schopny snímat polohu s dostatečnou přesností. Snímače jsou umístěny přímo na hřídelích na kuželových plochách, které umožňují odměřovacím kroužkům snímačů přesné vystředění. Rozlišení snímače dosahuje až  $0,0003''$  na otáčku (relativně), při absolutním kalibrovaném měření se dosahuje přesnosti lepší než  $0,1''$ .

## Výpočty elasticity montáže

\*

Při konstrukci montáže dalekohledu (obr. 6) bylo potřebné ověřit, zda deformace montáže po zatížení (gravitační silou od dalekohledu, respektive momentem síly při zapnutém pohonu) jsou dostatečně malé. Pro výpočet jsme použili software FreeFem++, který umožňuje programování metody konečných prvků (FEM) ve vlastním vysokoúrovňovém jazyce. Pro generování třírozměrných sítí (triangulaci) jsme využili programu Tetgen.

Zprovoznění postupu vyžadovalo funkční zjednodušení konstrukce (tj. obvyklý postup při výpočtech metodou FEM), optimalizování exportu z AutoCADu (do formátu STEP), programování skriptů pro konverzi datových formátů a samozřejmě vizualizaci výsledků ve 3D.

Výpočty deformací byly provedeny pro více než 40 různých konstrukcí, jednotlivých částí i funkčních celků, aby bylo možné konstrukci optimalizovat a aby průhyby montáže byly minimální dosažitelné. Využití různých solverů (UMFPACK, CG, GMRES, LU) a různých diskretizací nám umožnilo určit i nejistoty výsledků. Naším cílem bylo zmenšit celkové deformace na úroveň  $0,02 \text{ mm} = 20 \mu\text{m}$ , čehož se podařilo dosáhnout (obr. 7).

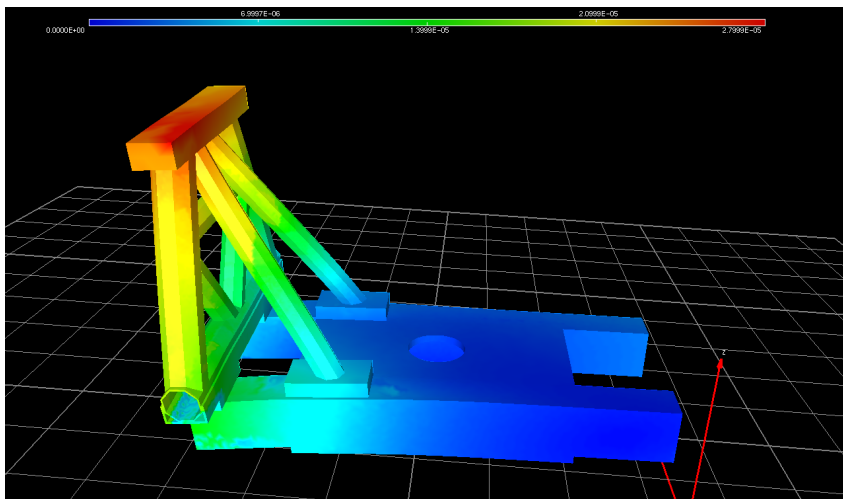
## Programování plánovače pozorování (Aiplan)

\*

Program Aiplan je určen uvažovanou aplikací, v našem případě fotometrií planetek, kterou následně využíváme k odvození 3D tvarů a rotačních vlastností (siderické doby rotace, směru rotační osy) těchto nepravidelných těles. Algoritmus přiřazování priority jednotlivým asteroidům vychází z naší zkušenosti s inverzí fotometrických dat. Pro optimální využití pozorovacího času dalekohledu je vhodné soustředit se na objekty, ke kterým již existují starší světelné křivky, pročež je



**Obr. 6** — Alt-azimutální montáž dalekohledu. Vidlice je vyrobena z oceli, přičemž výztuže zajišťují minimální průhyby konstrukce.



**Obr. 7** — Výpočet elasticity montáže dalekohledu, respektive její podstatné části. V tomto modelu předpokládáme působení síly 1 300 N ve směru osy x a nehybnou podstavu. Barevně jsou znázorněny výsledné deformace, které dosahují řádově  $0,02 \text{ mm} = 20 \mu\text{m}$  (s nejistotou menší než  $0,01 \text{ mm}$ ), což je nezbytné pro přesné navádění dalekohledu. Pro výpočet byl použit program FreeFem++.



nutná komunikace s naší databází DAFFED, kde interně skladujeme veškerá dostupná fotometrická data. Zohledňujeme též dostupnost jiných druhů pozorování, např. úspěšná měření zákrytu hvězdy planetkou, snímky pořízené dalekohledy vybavenými adaptivní optikou, měření v infračerveném oboru (pořízená například družicemi IRAS nebo WISE) nebo přesnou astrometrii, kterou bude pořizovat družice Gaia. Tato doplňková data lze použít k určení dalších fyzikálních charakteristik planetek (například rozměru, průměrné hustoty či tepelné vodivosti povrchu). Trvání, počet a rozestup jednotlivých měření je nutné vhodně zvolit v závislosti na periodě rotace asteroidu a období jeho viditelnosti. Výstupem pravidelného spouštění programu Aiplan jsou kostičky (pole objektů cube), které jsou jednak uloženy na disk a jednak odeslány přes TCP/IP programu Aitel.

## Programování výkonného software (Aitel)

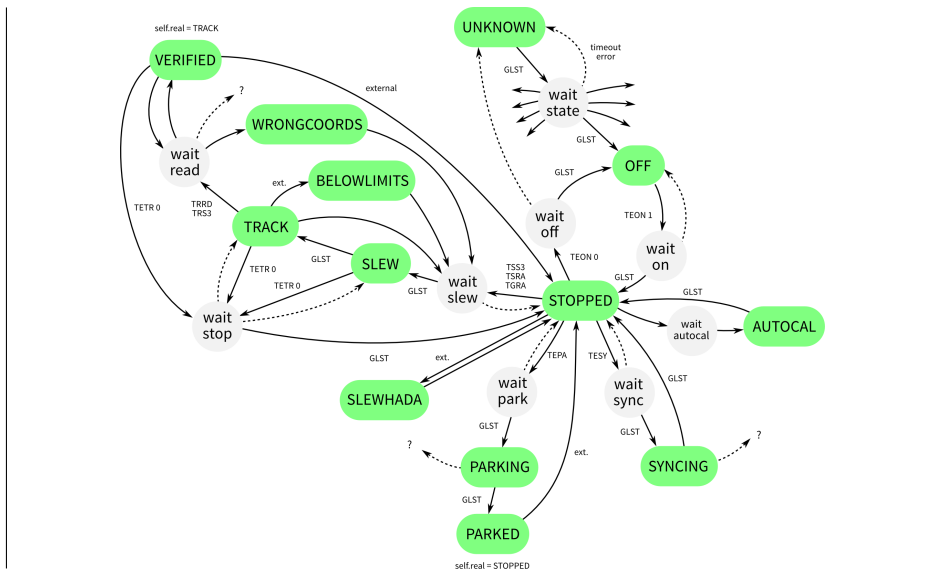
\*

Nejdůležitější komponentou software je program Aitel, čili výkonná část běžící v reálném čase a posílající příkazy observatoři, dle specifikace protokolů ASCOL a MACOL. Na základě tří testovacích kódů v jazyce Python a zkoušek zohledňujících mj. časové limity (timeouty), chybové stavy a výpadky spojení TCP/IP, bylo v roce 2013 rozhodnuto o použití varianty se softwarovými objekty, jež odpovídají jednotlivým hardwarovým zařízením.

V roce 2014 jsme tedy implementovali program Aitel v jazyce Python, jako objektově orientovaný a plně asynchronní kód. Před vlastní implementací jsme vytvořili funkční schémata jednotlivých typů zařízení, které se v programu jeví jako třídy (viz obr. 8 s příkladem pro dalekohled). Tento přístup se dříve osvědčil pro software nižší úrovně, ale zde jsme jej nově použili i pro nejvyšší úroveň řízení. Pro každé zařízení se pak vytváří objekt, instance dané třídy.

Seznam podporovaných tříd odpovídajících hardwarovým zařízením observatoře zahrnuje: Autofocus, Camera, CameraVoltage, Converter, Cooling, Derotator, Dome, Filterwheel, Flap, Focus, Guider, Heating, Meteo, Meteodata, Slit, Tel, Voltage, Weather. Kromě toho máme k dispozici třídy sloužící pro konfiguraci a komunikaci přes TCP/IP: AscolClient, Config, CubeClient, CubeServer, MacolClient. Objektů dané třídy může být samozřejmě vícero, například pro komunikaci využíváme tři objektů `ascol_client` — instancí třídy `AscolClient`. Zdrojový kód dané třídy se výhradně zabývá jediným zařízením. Závislosti mezi všemi zařízeními jsou řešeny jinde, a to v kódu sekvenceru (viz obr. 9 s ukázkou zdrojového kódu). Takové důsledné oddělení činí celý kód velmi přehledným.

Kód je zároveň vytvořen jako plně asynchronní, tzn. že neobsahuje žádné čekací smyčky, které by jinak zbytečně brzdily reakce programu na změny stavu objektů. V části kódu zabývající se komunikací TCP/IP, přijímáním a odesíláním paketů, které mohou být libovolně fragmentované, využíváme modulu `select`, což omezuje zátěž procesoru na minimum.



**Obr. 8** — Blokové schéma fungování dalekohledu, sloužící jako podklad pro implementaci softwarové třídy Tel (čili telescope). Bloky je znázorněno 22 různých stavů, ve kterých se může objekt nacházet. Zeleně jsou odlišeny stavy, do kterých objekt přechází samovolně po přijetí odpovědi na příkaz GLocal STate (GLST), šedivé jsou mezistavy, do kterých se objekt dostává po odeslání příslušných výkonných příkazů, dle specifikace protokolu ASCOL (viz malé nápisy). Šipky odpovídají možným přechodům, čárkované šipky naznačují změnu po uplynutí časového limitu (timeoutu) nebo chybovém hlášení. Objekt se zde jeví samostatně, jako by byl nezávislý na ostatních, ale všechny objekty jsou vzájemně provázány v jiné části programu, zvané sekvencer.

Důsledně využíváme objektové vlastnosti jazyka Python, jež umožňují snadné úpravy i budoucí rozšiřitelnost, což je zcela zásadní proto, aby co největší částí kódu byly beze změn použitelné i ve zcela jiných vědeckých aplikacích. Jako příklad můžeme uvést pozorování zábleskových zdrojů gama, vyžadující náhlé přerušování probíhajícího pozorování (po e-mailovém alertu). Úprava programu by spočívala pouze ve vytvoření druhé instance třídy CubeServer, čili druhé fronty kostiček, kódu převádějícího e-mailová upozornění na kostičku a úpravě sekvenceru, respektive metody select\_cube jakožto části vybírající kostičku z fronty s nejvyšší prioritou.

## Programování grafického rozhraní (Aiview) \*

Základem pro návrh grafického rozhraní je zmiňovaný objekt „kostičky“, popisující jeden blok pozorování. Kostička je zároveň použita jako vizuální prvek,

```

#!/usr/bin/env python
...
#-----
# AITEL.py
Astronomical Institute Telescope control program
...
...author = "Kirišlav Brou (kirislav.brou@seznam.cz)"
...version = "1.0a, 24th 2014"
...
# system-wide modules
import os
import time
import sys

# user-defined modules
import dev
import dev.config
import dev.ascol_client
import dev.macol_client
import dev.cube_server
import dev.cube_voltage
import dev.tel
import dev.done
import dev.flip
import dev.focus
import dev.detrotator
import dev.filterwheel
import dev.guides
import dev.autofocus
import dev.camera
import dev.cooling
import dev.heating
import dev.metro
import dev.weather
import dev.sun
import astro_utils
import misc.const

class AITel(dev.GeneralDevice):
    """Astronomical Institute Telescope"""

    def __init__(self, configfile):
        """Configuration, initialization of all objects."""
        # read config-file
        self.cfg = dev.config.Config(configfile)
        self.cfg.info()

        # create instances of all objects
        self.ascol = dev.ascol_client.AscolClient(self.cfg)
        self.ascol2 = dev.ascol_client.AscolClient(self.cfg, name="ascol2")
        self.macol = dev.macol_client.MacolClient(self.cfg)
        self.ascol3 = dev.ascol_client.AscolClient(self.cfg)
        self.tel = dev.tel.Tel()

        self.done = dev.Done()
        self.xlit = dev.xlit.Xlit()
        self.flip = dev.flip.Flip()
        self.focus = dev.focus.Focus()
        self.detrotator = dev.detrotator.Detrotator()
        self.filterwheel = dev.filterwheel.Filterwheel()
        self.guides = dev.guides.Guides()
        self.autofocus = dev.autofocus.AutoFocus()
        self.camera = dev.camera.Camera(self.cfg)
        self.cooling = dev.cooling.Cooling(self.cfg)
        self.heating = dev.heating.Heating(self.cfg)
        self.metro = dev.metro.Metro()
        self.weather = dev.weather.Weather(self.cfg)
        self.sun = dev.sun.Sun(self.cfg)

        # start cube server
        try:
            self.cube_server = dev.cube_server.CubeServer(self.cfg)
        except StandardError as ex:
            self.printVerbose()
            self.print("Error: Starting cube-server. Exiting")
            sys.exit(1)

        def run(main):
            """Main loop"""
            # gracefuly handle KeyboardInterrupt and TCP timeouts
            # loop-level cycle
            while 1:
                if _debug_:
                    self.info()
                self.voltage.run(self.ascol)
                self.tel.run(self.ascol, self.cube, self.itarget)
                self.done.run(self.ascol)
                self.xlit.run(self.ascol)
                self.flip.run(self.ascol)
                self.focus.run(self.ascol, self.cube)
                self.detrotator.run(self.ascol, self.cube)
                self.filterwheel.run(self.ascol, self.cube, self.itarget, self.filter)
                self.autofocus.run(self.ascol2, self.cube)
                self.guides.run(self.ascol)
                self.camera.run(self.macol, self.cube, self.itarget, self.filter)
                self.cooling.run(self.macol, self.cube)
                self.heating.run(self.ascol)
                self.metro.run(self.ascol)
                self.weather.run(self.metro)
                self.sun.run()
                self.cube_server.run()
                self.ascol.run(dispatch)
                self.ascol2.run(dispatch)
                self.ascol3.run(dispatch)
                self.macol.run(dispatch)

            self.sequencer()

        time.sleep(self.cfg.safety_sleep)
        except (KeyboardInterrupt) as ex:
            if _debug_:
                self.printVerbose()
                self.print("Interrupt or Error: Cleaning up. Exiting")
                sys.exit(1)

        def sequencer(self):
            """Sequencer (i.e. change wish'es according to state)"""
            # FIRST: let's start with simple wishes...
            ...

            # telescope
            if (self.tel.state == self.tel.OFF or \
                self.tel.state == self.tel.PARKED or \
                self.tel.state == self.tel.PARKING) and \
                self.voltage.state == self.voltage.ON:
                self.tel.wish = self.tel.STOPPED
            elif self.tel.state == self.tel.STARTING or \
                (self.tel.stat.calibrated_ok == self.tel.CALIBRATED or \
                 self.tel.stat.calibrated_ok == self.tel.NOTCALIBRATED):
                self.tel.wish = self.tel.STAYING
            elif self.tel.state == self.tel.STOPPED and \
                self.tel.stat.calibrated_ok == self.tel.CALIBRATED and \
                self.tel.stat.calibrated_ok == self.tel.CALIBRATED:
                self.tel.wish = self.tel.SLEW
            elif self.tel.state == self.tel.WORKCOORDS:
                self.tel.wish = self.tel.SLEW
            elif self.tel.state == self.tel.BELOWLIMITS:
                self.tel.wish = self.tel.SLEW
            elif self.tel.state == self.tel.SLEW:
                self.tel.wish = self.tel.SLEW
            elif self.tel.state == self.tel.TRACK:
                self.tel.wish = self.tel.VERIFY
            ...

        def main():
            """Resolve command-line arguments and run main loop"""
            # default values
            configfile = "config.in"
            # command-line parameters
            ...

            aitel = AITel(configfile)
            aitel.run()

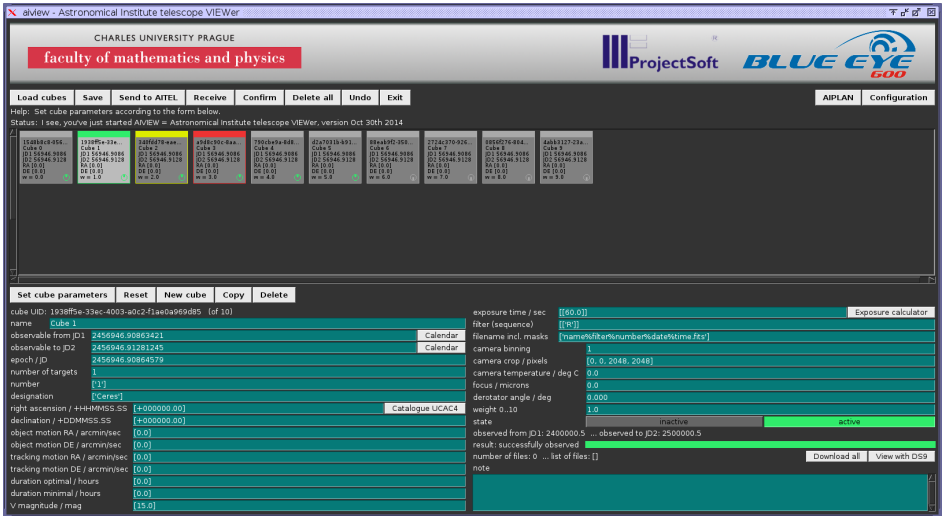
            if _name_ == "__main__":
                main()

```

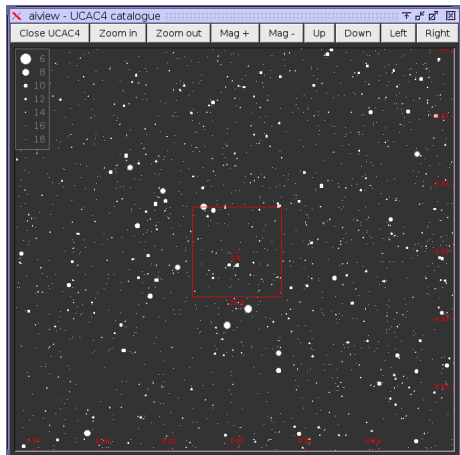
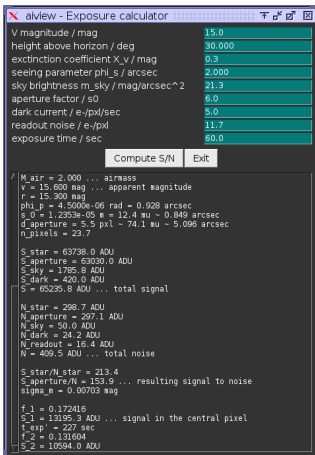
**Obr. 9** — Ukázka části zdrojového kódu programu Aitel v jazyce Python, respektive hlavičky, metod `init`, `run`, `sequencer` a funkce `main`. V hlavičce jsou pouze importované potřebné moduly. V metodě `init` se načítá konfigurace a vytvářejí se jednotlivé objekty jakožto instance tříd. Metoda `run` zahrnuje hlavní cyklus, který opakovaně volá metody `run` všech objektů i metodu `sequencer`. Ve zmiňovaném sekvenceru vidíme podmínky (příkazy `if..`), ve kterých se testují aktuální stavy objektů, a na jejich základě se nastavují přání (proměnné `self.tel.wish` a pod.). Nesoulad mezi přáními a stavy se posléze řeší v metodách `run`, a to posláním výkonných příkazů ASCOL nebo MACOL. Program tak nahrazuje operátora, který by se podle toho, co vidí na monitoru, rozhodoval, na které tlačítko kliknout.

kteřý je pro uživatele atraktivní a snadno pochopitelný. Grafické rozhraní slouží primárně ke kontrole kostiček naplánovaných programem Aiplan a pro odpoled průběhu pozorování. Samozřejmě je možné i manuální zadávání několika desítek parametrů pozorování. V tomto případě je samozřejmě nutná důsledná kontrola vstupu, fyzikálních hodnot a bezpečnostních limitů, která je zřetelně graficky indikována (další úroveň kontroly je implementována v programu Aitel a poslední nezávislá úroveň v části Projectsoft telescope).

Program byl implementován v jazyce Python, se standardním multiplatformním modulem Tkinter. Běh programu je tak možný pod operačními systémy Unix, Windows i Mac. Program je samozřejmě řízen událostmi, čili procesor počítače zatěžuje jen minimálně. Pro komunikaci program využívá socketů TCP/IP, přičemž se posílají nebo přijímají serializované objekty (konkrétně pole objektů `cube`). Jako pomůcky pro plánování pozorování byla naprogramována i grafická rozhraní pro výpočet optimální expoziční doby a náhled katalogu UCAC4 (obr. 10, 11).

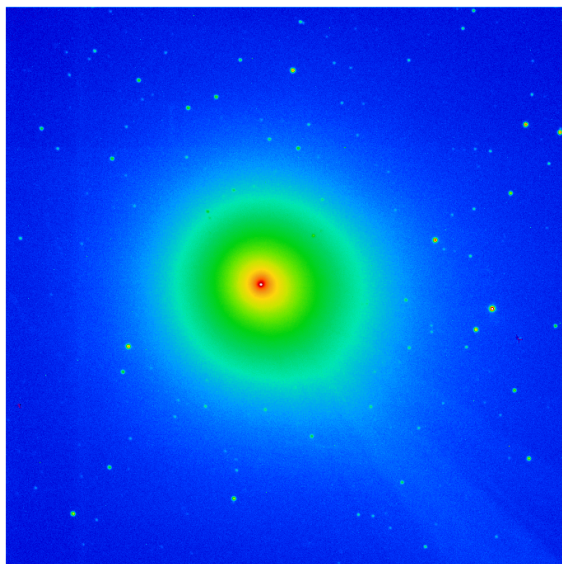


**Obr. 10** — Grafické rozhraní Aiview, které umožňuje přípravu pozorování v podobě intuitivních kostiček (observačních bloků, obdobných jako používá Evropská jižní observatoř, ESO), případně vizuální kontrolu kostiček naplánovaných programem Aiplan. V horní části hlavní obrazovky je pole kostiček a tlačítka, kterými je mj. možné odeslat kostičky programu Aitel nebo naopak načíst kostičky právě pozorované. V dolní části se nastavují jednotlivé parametry pozorování. Rozhraní je implementováno v jazyce Python a multiplatformním modulu Tkinter.



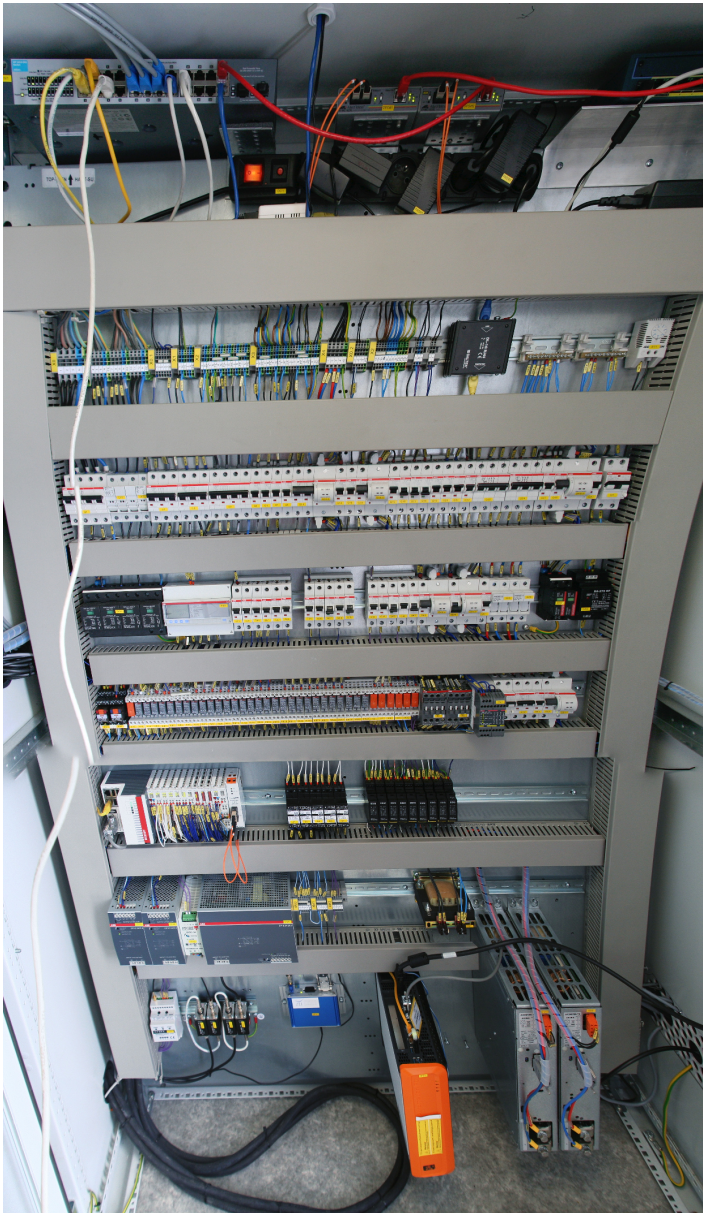
**Obr. 11** — Část programu Aiview, vlevo rozhraní pro výpočet optimální expoziční doby a poměru signál/šum, vpravo náhled zorného pole dalekohledu v katalogu UCAC4 s vyznačenou trajektorií asteroidu během doby pozorování. Obojí slouží jako užitečné pomůcky při plánování. V případě programu Aiplan se zmiňované výpočty také provádějí.

Po instalaci observatoře Blue Eye 600 v Ondřejově a základním oživení všech hardwarových zařízení bylo možné ke konci roku 2014 přistoupit k testování. Nezbytnými předpoklady bylo pochopitelně zkolimování optické soustavy po transportu, zaostření nahrubo a vytvoření alespoň předběžného modelu pro nájezdy dalekohledu dle souřadnic, který umožňuje zaměření cíle s přesností 5' až 10'. Pro ověření funkce kamery bylo nutné pořídit korekční snímky pro základní redukci (bias, dark frame a flat field) a zkontrolovat příslušné poměry signálu a šumu, aby bylo jisté, že v celé optické cestě nedochází ke ztrátám světla.

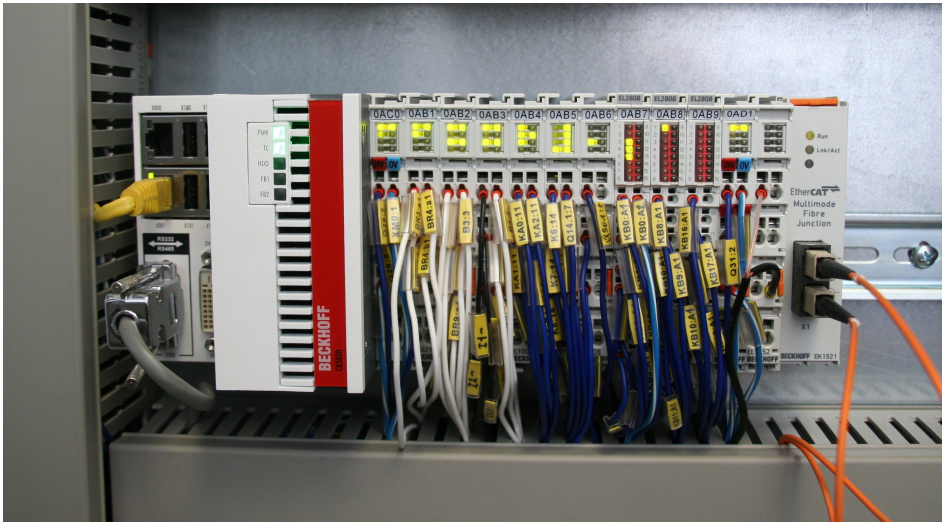


**Obr. 12** — Kometu C/2014 Q2 (Lovejoy) zachycená observatoří 15. 1. 2015. Expoziční doba byla volena krátká (2 krát 10 s) kvůli rychlému pohybu komety vzhledem ke hvězdám.

- [1] *Plně robotická observatoř firmy Projectsoft HK a. s.* [online]. [cit. 2015-02-01]. <http://www.projectsoft.cz/roboticka-observator.php>.
- [2] *Technologická agentura České republiky* [online]. [cit. 2015-02-01]. <http://www.tacr.cz/>.
- [3] *Informační systém výzkumu, experimentálního vývoje a inovací* [online]. [cit. 2015-02-01]. <http://www.isvav.cz/projectDetail.do?rowId=TA03011171>.
- [4] *Officina Stellare* [online]. [cit. 2015-02-02]. <http://www.officinastellare.com/>.
- [5] *Moravské přístroje a. s.* [online]. [cit. 2015-02-01]. <http://www.gxccd.com/>.



**Obr. 13** — Otevřený hlavní rozvaděč, který je umístěn v separátním kontejneru o rozměrech přibližně 2 krát 2 krát 2 metry. Do kontejneru byla uložena i výkonná jednotka UPS, potřebné nářadí apod.



**Obr. 14** — Průmyslový počítač (PLC) Beckhoff CX5020, dalo by se říci „nervový systém“ observatoře řídící většinu hardwarových komponent. Za „mozek“ by pak mohl být považován program Aitel, který právě tomuto PLC posílá příkazy dle protokolu ASCOL.



**Obr. 15** — Manuální ovládání observatoře je možné pomocí vizualizace (SCADA) Tompack. V tomto případě je spuštěna na dotykovém monitoru, umístěném přímo na rozvaděči, a lze ji tak využít při servisních zásazích.

Zdaleka nejpozoruhodnější úkaz roku 2012, týkající se vizuálně pozorovatelných supernov, byl ten poslední. Uprostřed nevýrazného souhvězdí Jižní ryby, v nenápadné spirální galaxii *NGC 7259* vzdálené 66,5 miliónu sv. r.<sup>2</sup>, se ovšem odehrály vrcholně zajímavé události už dříve a rozhodně si zaslouží podrobnější popis. Jak vysvitne z dalšího výkladu, tato událost, již provází pověst jednoho z nejzajímavějších a nejpodrobněji studovaných mimogalaktických explozivních jevů, představuje unikátní případ pozorování zániku nestabilní eruptivní svítivé modré proměnné hvězdy *LBV* (Luminous Blue Variable) jako gravitační supernovy spektrálního typu *IIn*.<sup>3</sup>

## Zjasnění v roce 2009

\*

Už označení této exploze napovídá, že její historie sahá zpět do roku 2009. Tehdy 26. července tým automatické přehlídky CHASE (CHilean Automatic Supernova sEarch; Maza, Pignata aj.) identifikoval ve zmíněné galaxii nový objekt s nefiltrovanou relativní jasností 17,9 mag, odpovídající absolutní jasnosti  $-13,7$  mag (objekt je zachycen na obr. 16, vlevo). Nejprve byl tento úkaz považován za málo svítivou supernovu. Na základě dalších fotometrických a spektroskopických studií však velmi záhy vyšlo najevo, že jde ve skutečnosti o mohutný výbuch hvězdy *LBV*. Proto byl jev překlasifikován na *supernovu-podvodníka*.<sup>4</sup>

Od oné chvíle započala řada krátkých etap jeho náhlých zjasnění následovaných neméně rychlými poklesy svítivosti, nápadně připomínající eruptivní fáze proměnné hvězdy  $\eta$  Carinae v období 1837 až 1856 (resp. 1842 až 1845). Tato tříletá série několikanásobných střídání zjasňování a slábnutí se stala závažným

<sup>2</sup> Měřená vzdálenost galaxie „kolísá“ mezi tímto číslem a 78 milióny sv. r. Všechny níže uváděné absolutní jasnosti a luminozity úkazu byly odvozeny z prvně jmenované hodnoty, jež bývá v literatuře používána nejčastěji.

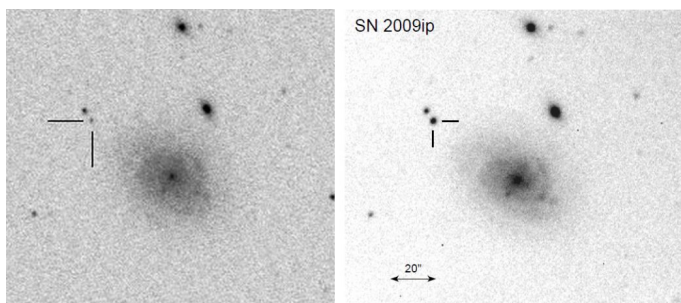
<sup>3</sup> O supernovách typu IIn, jejich původcích a také o jevu zvaném pulsační párová nestabilita hvězdy (viz dále) podrobněji pojednáváme v číslech Povětrně 6/2011 a 1/2012.

<sup>4</sup> Tento výraz se používá pro exploze, které svou svítivostí a spektrem napodobují chování slabých supernov typu IIn, ale nedochází při nich k úplnému zničení hvězdy. Často vykazují proměnnost typu S Doradus, takže se předpokládá, že jde o enormní aktivitu hvězd *LBV*. Při ní občasné a opakovaně dochází (kromě běžně probíhající zvýšené ztráty vrstev látky z jejich atmosféry, jejíž hnací silou je vydatný hvězdný vítr) ke gigantickým erupcím, během nichž může být naráz odvržena rozpínající se obálka o celkové hmotnosti až několik  $M_{\odot}$ . Odlišení supernov-podvodníků od skutečných supernov je složité a nejednoznačné; za přibližný limit v absolutní jasnosti pro reálnou explozi *LBV* je považována hodnota  $-14,5$  mag.

\*



dokladem, že LBV 2009ip vstoupila do velmi aktivní a nestabilní fáze proměnnosti, při níž bývají intenzivní výbuchy doprovázeny významnou ztrátou materiálu z hvězdného původce.



**Obr. 16** — Vlevo snímek hostitelské galaxie NGC 7259 ze dne 26. 8. 2009, se supernovou-podvodníkem 2009ip — bez nadsázky prozatím nejlépe zdokumentovaným hvězdným předchůdcem supernovy v historii astronomie. © CHASE; převzato z ([http://www.das.uchile.cl/proyectoCHASE/sne\\_2009/carta\\_sne\\_2009ip.jpg](http://www.das.uchile.cl/proyectoCHASE/sne_2009/carta_sne_2009ip.jpg)). Vpravo fotografie nového vzplanutí SN 2012ip jakožto supernovy typu II<sub>n</sub> ze dne 24. 9. 2012. Několik vteřin severovýchodně od supernovy se nalézá načervenalá hvězda z naší Galaxie, s jasností přibližně 18 mag v červeném oboru spektra. Převzato z [3].

Po maximu jasnosti, jež nastalo nedlouho po objevu, podvodník nejprve zeslábl až na 20,5 mag v červeném spektrálním oboru, nicméně již okolo 21. září 2009 opět během několika málo dnů rychle zjasnil na 18,3 mag.<sup>5</sup> Poté zase slábl, až na konci listopadu téhož roku klesl svou jasností slabě pod hodnotu 21 mag.

Po roční klidové periodě nastaly další výbuchy v letech 2010 (první zjasnění se uskutečnilo v polovině července s maximem na 17 mag a druhé koncem září s maximem na 17,7 mag) a 2011 (opakovaně od května do října s o něco slabšími kulminacemi jasností), které si udržovaly celkem jednotný ráz. Oba roky byly s rokem 2009 souměřitelné nejen co do svítivosti jednotlivých úkazů při jejich maximech (absolutní jasnosti se pohybovaly přibližně mezi  $-14$  a  $-14,5$  mag), ale též pokud jde o průběh poklesu jejich jasnosti. Kromě toho můžeme ze starších záznamů zpětně usuzovat na slabší výbuch v červenci 2007 a také se zdá, že hvězda byla poněkud aktivnější už v srpnu 1996. V těchto dřívějších obdobích ovšem její jasnost nikdy nepřesáhla hodnotu 20,4 mag.

Zaznamenaná spektra všech erupcí se vyznačují tím, že v nich převládají silné a relativně úzké emisní čáry Balmerovy série vodíku (nejvýrazněji čára  $H_{\alpha}$ ) a také helia He I, odpovídající rychlostem vyvržené látky většinou okolo 550 až 600 km/s

<sup>5</sup> Neměli bychom přehlédnout, že takto razantní zjasnění o více než 2 hvězdné velikosti se značně podobalo chování  $\eta$  Carinae měsíc před její největší erupcí v roce 1843.

— takovéto rychlosti jsou obvyklé jak u supernov–podvodníků, tak u supernov třídy II<sub>n</sub>. Pouze menší množství materiálu se pohybovalo většími rychlostmi až několik tisíc kilometrů za sekundu, o čemž vypovídaly široké absorpční čáry ve spektrech. Nejvyšší hodnoty dosahovaly v průměru 4 500 až 7 000 km/s (což je mimochodem více než u jakýchkoli jiných registrovaných erupcí LBV, vyjma největší erupce  $\eta$  Carinae), jen zcela výjimečně byly rychlosti malé části vyvrženin ještě větší.

Z Hubbleova dalekohledu máme v archivu několik snímků potenciálního progenitora zmíněných událostí z jeho klidových období, jmenovitě tři snímky z let 1999, 2005 a 2008. První dva na inkriminovaném místě oblohy zachycují horký modrý bodový zdroj s jasností 21 mag, resp. 22 mag, čili s absolutní hvězdnou velikostí okolo  $-10$  mag (v červené oblasti spektra). Na posledním snímku ale není tento zdroj patrný, a tudíž musel mít tenkrát jasnost pod 22 mag. Již podle těchto archivních záběrů se zdá být pravděpodobné, že jde buď o nějaký blíže nespecifikovaný typ kataklyzmatické proměnné hvězdy, nebo o hvězdu LBV. Původní hmotnost předchůdce je přitom odhadována na 50 až 80  $M_{\odot}$ .

## Zjasnění o tři roky později

\*

Konečně v roce 2012 nastaly dvě epizody mnohem intenzivnějších zjasnění objektu 2009ip, označené jako 2012a a 2012b. Tentokrát však události vzbudily rozsáhlou diskuzi, zda šlo vlastně jen o další výbuchy, po kterých hvězda přetrvala (ať už to byly výjimečně silné erupce LBV, či nějaký jiný druh mohutných explozí), nebo zda již při některém z nich nadobro zanikla jako supernova. Než se ovšem k těmto závěrům dostaneme podrobněji, musíme obrátit pozornost k základním faktům.

**Událost 2012a.** První vzplanutí, zaznamenané během rutinního snímání hostitelské galaxie, oznámil dne 24. července automatický systém CRTS (Catalina Real-Time Transient Survey). Zdroj měl tou dobou podobnou jasnost jako v roce 2009, zhruba 18 mag bez použití filtru. Na přelomu srpna a září pak hvězda dosáhla maxima asi 16,8 mag ve vizuálním a 16,5 mag v červeném oboru. Z toho plyne, že její absolutní jasnost byla již okolo  $-15$  mag, což bylo nejvíce za poslední roky. Luminozita zdroje v době vrcholu vykazovala hodnotu  $10^{34}$  W. Hvězda několik málo dnů setrvala přibližně na konstantní hodnotě jasnosti, ale do 23. září zeslábla na 18,2 mag v červeném a infračerveném oboru spektra. Je tedy zřetelné, že vývoj světelné křivky první exploze roku 2012 byl zpočátku víceméně obdobný, jako tomu bylo v letech 2009 a 2010.

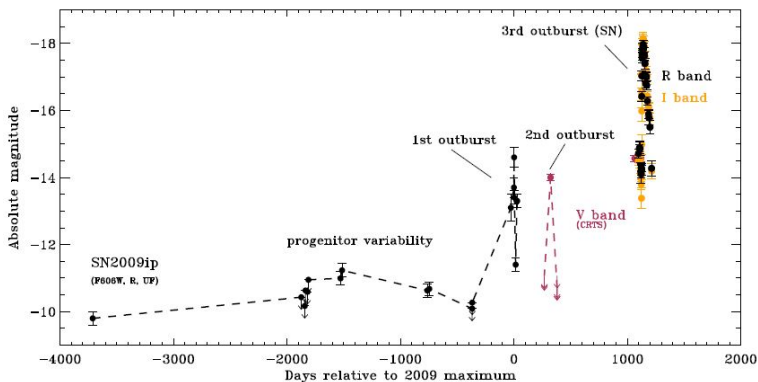
Není divu, že se zprvu hledalo vysvětlení události v tom, že jde o další dočasnou erupci LBV, soudě i podle převládajících úzkých profilů čar vodíku a helia

v prvních spektrech získaných v srpnu a také podle relativně rychlého poklesu jasnosti po maximu. Lze však připustit, že jasností v maximu se už výbuch blížil slabým gravitačním supernovám typu IIP. Nemalé překvapení ale představoval vývoj spekter o několik týdnů později. Začátkem a zejména v polovině září postupně došlo k neočekávaným a poněkud záhadným změnám. Navzdory *trvajícimu klesání jasnosti* zdroje se totiž v jeho spektrech kromě předchozích nápadných úzkých a středně širokých emisních složek objevily silné velmi široké čáry, s výraznými absorpčními profily P Cygni. Čáry odpovídaly rychlostem vyvrženého materiálu okolo 8 000 až 9 000 km/s, ojediněle až 13 000 km/s. Takovéto spektrální rysy jsou rovněž typické už pro supernovy IIP a nebyly u jiných supernov–podvodníků nikdy předtím pozorovány.

**Událost 2012b.** Nejvýznamnější mezník ve vývoji úkazu však představovala noc z 23. na 24. září. Za necelý den objekt znovu dramaticky zjasnil na 16,6 mag v infračervené složce spektra, čili o 1,6 mag (tento zvrát dokumentuje obr. 16, vpravo). Zpočátku bylo zvyšování jasnosti extrémně rychlé, a to zejména právě v infračerveném a červeném oboru (v kterýchžto pásmech probíhala měření nejčastěji): během památné noci 24. září za pouhých 6 hodin vzrostla jasnost o více než půl hvězdné velikosti; za následující den pak bylo zaznamenáno zvýšení o další jednu a půl velikosti. Do konce 26. září, čili během tří a půl dne od strmého nástupu události, nastalo úhrnné zjasnění objektu v optickém a infračerveném pásmu přibližně o 3,5 až 4 mag. Nejmarkantnější ovšem nakonec bylo v ultrafialové části spektra, tam totiž došlo za tak krátkou dobu k nárůstu dokonce o 5 mag! Další dva dny pak bylo stoupání jasnosti ve všech oborech mnohem pozvolnější, přesto však stále probíhalo tempem 0,2 mag za den.

V následném období zjasňování pokračovalo ještě menší rychlostí a vrchol na světelné křivce se dostavil okolo 5. až 7. září s jasností zhruba 13,5 mag (o něco zřetelnější byl v infračerveném a červeném oboru spektra, 13,3 mag; naopak ve vizuálním oboru byl slabší, asi 13,7 mag). Z uvedených faktů vyplývá, že absolutní jasnost zdroje v té době kolísala okolo  $-18$  mag a jeho luminozita dosáhla  $10^{36}$  W. Po dosažení kulminace byl v dalším období pozorován již poslední postupný pokles jasnosti, přičemž nezůstaly bez povšimnutí ani její občasné drobné fluktuace zejména začátkem listopadu a v prosinci, a to s amplitudou několik desetin magnitudy na časové škále několika dnů až týdnů. Evoluci světelné křivky za celou historii SN 2009ip zaznamenává obr. 17.

Je poučné se detailněji věnovat vývoji spekter v této nové epizodě. Zhruba od 25. do 28. září v nich postupně zesílilo a převládlo modré kontinuum a dále znovu zintenzivněly a nabyly vrchu nápadné užší vodíkové emisní čáry Balmerovy série s rychlostmi do 600 až 700 km/s a též užší heliové emisní čáry. Naopak dřívější velmi široké emisní a absorpční složky P Cygni Balmerových čar začaly slábnout a z rychlostí přibližně 10 000 km/s klesat na 5 000 km/s, z velké části spektra



**Obr. 17** — Světelná křivka SN 2009ip v absolutních jasnostech, zahrnující archivní fotometrická data progenitora získaná z Hubbleova teleskopu a dále data vizuální, červené, infračervené a nefiltrované fotometrie shromážděná pozemními přístroji. První erupce se udála v roce 2009, druhá v roce 2010 a třetí (resp. třetí a čtvrtá) v roce 2012. Převzato z [3].

skoro vymizely. V okamžiku nejvyšší jasnosti a brzy po něm ve spektrech stále dominovalo horké kontinuum a úzké emisní čáry, z širokých čar byla jen nevýrazně přítomna absorpční složka  $H_{\alpha}$ . Asi týden až čtrnáct dní po maximu se opět pomalu počaly objevovat široké čáry korespondující s rychlostmi 11 000 až 13 000 km/s a další vývoj spektra již probíhal podobně jako u supernov normálního typu IIP. Spektrální vývoj události 2012b můžeme sledovat na obr. 18.

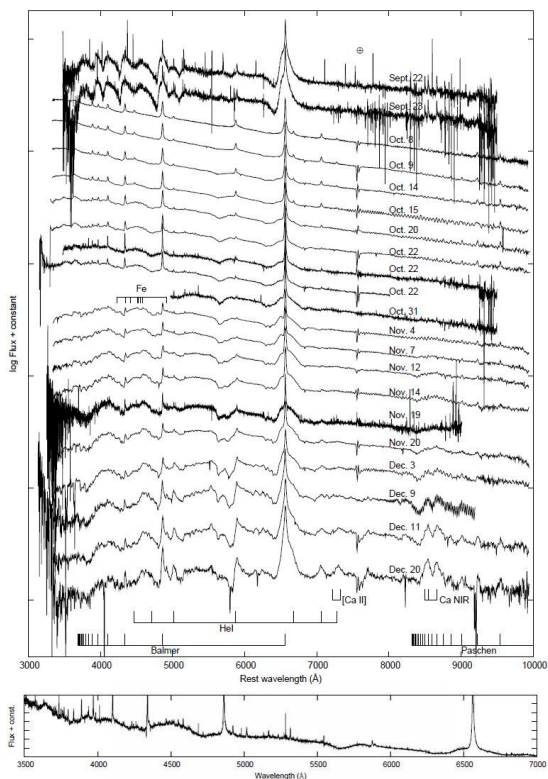
## Co bylo příčinou pozorovaných zjasnění?

\*

Vraťme se k objasnění příčin těchto událostí. Jak jsme vzpomenuli předtím, našlo se několik výkladů toho, k čemu vlastně během první i druhé epizody roku 2012 došlo, případně v jakém pořadí se tyto různé astrofyzikální jevy sebehly. Komplikaci přitom způsobovalo, že studie různých autorů si občas navzájem odporovaly nejen ve výsledných závěrech, ale také v hodnotách měřených veličin! To vše pravděpodobně jen odráží skutečnost, že prozatím ještě neznáme s dostatečnou podrobností všechny fyzikální mechanismy spojené s chováním předchůdců supernov.

Přestože druhá událost 2012b byla už v začátcích několika týmy vědců bez pochybností klasifikována jako raná fáze málo zářivé supernovy typu IIn — a otázkou pro ně zůstávalo jen to, kdy přesně došlo k samotnému výbuchu, jenž novému náhlému zvýšení jasnosti předcházel — ještě dlouho poté přetrvávaly i jiné interpretace celého úkazu. I všechny ostatní scénáře se nicméně shodují v tom, že

\*



**Obr. 18** — Optická spektra supernovy SN 2009ip (událost 2012b). Nahoře sled spekter z období od konce září do prosince 2012, dole spektrum s vysokým rozlišením z 23. října 2012, v němž je možno rozeznat také „les“ úzkých emisních čar Fe. Převzato z [1].

strmé zjasnění koncem září a následný vývoj tvaru světelné křivky byly způsobeny silnou interakcí části rychle se pohybujících nových vyvrženin během jejich srážky s pomalu se rozpínajícím okolohvězdným materiálem, jenž opustil progenitora následkem jeho erupcí pozorovaných o několik let dříve.

**Nestandardní vysvětlení.** Uvedeme dva scénáře, které vysvětlují posloupnosti zmíněných událostí jinak než ve spojení s výbuchem supernovy. Nejčastěji uvažované alternativní řešení navrhuje, že vyjmenované vlastnosti spekter pořízených během roku 2012 i v letech předešlých byly zapříčiněny poměrně vzácným jevem zvaným *pulsační párová nestabilita hvězdy* (který je však observačně prakticky nerozlišitelný od prostých erupcí LBV). Koneckonců, i hmotnost předchůdce s nízkou metalicitou mohla již být poměrně blízko režimu tohoto procesu.

Úvaha se mimo jiné opírá o výše uvedené zjištění, že už některá spektra ze září 2011, tedy rok před nejvýraznějším výbuchem, prokazovala místní rychlosti vyvrženin až 12 500 km/s. To upozorňuje na skutečnost, že velmi vysoké rychlosti vyvrženin nemusejí vždy nutně souviset s konečným kolapsem jádra hvězdy. Další argument tkví v rychlejším poklesu světelné křivky, naměřeném některými badateli v pozdním období události 2012b, než jaký je běžný u typických supernov II<sub>n</sub> a než by se dalo čekat zásluhou rozpadu obvyklého množství radioaktivního izotopu kobaltu <sup>56</sup>Co. Přitom nebyly pozorovány známky svědčící o tvorbě prachu ve vyvrženinách, jenž by rychlejší pokles na světelné křivce, tj. snížení svítivosti, mohl způsobit vlivem extinkce. Vznikla rovněž otázka, proč v pozdních spektrech jen jakéhosi „pseudonebulárního“ stadia z prosince 2012 nebyly identifikovány žádné typické nebulární emisní čáry. Neobjevily se kupříkladu jasné optické zakázané čáry kyslíku [OI] na vlnových délkách 6 300 a 6 364 Å nebo napůl zakázaná čára hořčíku [MgI] na vlnové délce 4 571 Å, což obě jinak bývá charakteristický znak pozdního spektrálního vývoje gravitačních supernov.

Uvážíme-li tuto předloženou možnost, průběh světelné křivky události 2012a by pak mohl být ozřejměn srážkou dvou hmotných slupek plynu, vyvržených hvězdou díky pulsační párové nestabilitě, a událost 2012b by poté měla být zapříčiněna přeměnou kinetické energie na zářivou při další kolizi se starším okolohvězdným plynem. Jádro přeživší hvězdy by se přitom údajně mělo pomalu smršťovat a teprve snad až za několik let by měl nastat opravdový výbuch supernovy. Důkazem této hypotézy mělo proto být relativně brzké znovuoobjevení se hvězdného předchůdce erupcí s přibližně původní klidovou jasností na místě zdroje. Nic takového však nebylo pozorováno.

Nechyběl ani hlas, že v průběhu události 2012a proběhlo *splynutí dvou masivních hvězd v binárním systému*: nestabilní hvězdy LBV s hmotností 60 až 100  $M_{\odot}$  a hvězdy hlavní posloupnosti s hmotností 0,2 až 0,5 násobku hmotnosti první hvězdy (resp. zhruba 25  $M_{\odot}$ ). Tato poněkud nepravděpodobná koncepce je částečně podložena jistou podobností mezi světelnou křivkou SN 2009ip, charakterizující její exploze v roce 2012, a křivkou vzniklou při erupcích neobvyklé proměnné hvězdy V838 Monocerotis v roce 2002. Podle ní došlo nejprve během srážky a splývání hvězd k vyvržení několika slupek rychle se pohybujícího materiálu. Pozorovaná velká svítivost následné události 2012b pak byla opět podmíněna střetem těchto vyvrženin s dřívějším okolohvězdným materiálem. Předcházející výraznější výbuchy v letech 2009 a 2011 mohly přitom být způsobeny těsnou interakcí obou hvězd při průchodech periastrum na velmi excentrické dráze.

Empirické ověření tohoto druhého předpokladu by podobně jako u prvního spočívalo v tom, že poté, co se vyvrženiny stanou opticky tenké, měla by se jako výsledek sloučení ukázat obří hvězda (ovšem mnohem hmotnější a více horká než rudý obr zbyvší po V838 Mon), což se ale neprokázalo.

**Standardní vysvětlení.** Mezi všemi výsledky výzkumů nakonec nabyla převahy domněnka, že jak fotometrický, tak spektroskopický vývoj celé události odpovídal poměrně standardnímu, byť jasností značně slabému výbuchu supernovy třídy II<sub>n</sub>. Neobvyklé v tomto případě bylo pouze to, že máme k dispozici rozsáhlé a detailní informace o chování hvězdného původce supernovy, pozorovaného několik let před konečným výbuchem, neboť známe nejen jeho archivní snímky z období ještě před úplně prvním vzplanutím, ale navíc máme velmi dobře pokryta pozorování během většiny jeho erupcí.

K výslednému návrhu je možné poznamenat následující. Na začátku události 2012a pravděpodobně došlo k poslední erupci hvězdy jakožto LBV. Zakrátko na to tento kompaktní modrý nadobr o poměrně malém poloměru asi  $60 R_{\odot}$  a hmotnosti vnější vodíkové obálky zhruba  $10 M_{\odot}$  přece jen vybuchl jako supernova. Stalo se tak někdy mezi zmíněnou poslední erupcí a počátkem září (nejpravděpodobněji snad v půlce srpna), čili ještě před objevením se velmi širokých emisních čar ve spektrech zdroje. Nízká jasnost a absence širokých emisních čar ve spektrech pozorovaných v srpnu byly zřejmě důsledkem toho, že rychlé vyvržení supernovy mohly být právě dočasně zahaleny obálkou vyhozenou při posledním výbuchu LBV. Naopak široké spektrální složky, jež se objevily v první polovině září, byly již neklamnou známkou časného stadia vzplanutí supernovy, kdy byl ještě starší okolohvězdný materiál natolik průhledný, že vyzářující fotosféra uvnitř rychle expandujících vyvrženin mohla být skrze něj viděna. Přítomnost širokých čar *před* maximem jasnosti nebyla ještě nikdy u doposud nalezených supernov typu II<sub>n</sub> sledována z toho prostého důvodu, že většina z nich byla objevena až relativně blízko maxima a nikoli o celé týdny dříve. Ve skutečnosti by však patrně u většiny supernov tohoto typu mělo probíhat něco podobného. Základní široké emisní složky P Cygni, patrně i v pozdním období vývoje spektra, svědčí o relativně velké hmotnosti vyvrženin, jež by měly odpovídat za kinetickou energii exploze snad až  $10^{44}$  J, přestože celková optická (resp. elektromagnetická) vyzářená energie byla o dva řády menší.

Hlavní podíl na zářivosti události 2012b pochopitelně připadal na již mnohokrát zmiňovanou interakci vyvrženin, jež nastala po 40 až 50 dnech od výbuchu supernovy, kdy řádově 10krát rychlejší čerstvé vyvržení dohonily pomalu se rozpínající okolohvězdnou obálku vzniklou z předchozích erupcí. Prvotní silné zjasnění, jak je obvyklé u supernov této třídy, následovalo vytvoření opticky neprůhledné obálky, což vysvětluje téměř úplné potlačení širokých čar v raných spektrech. (Široké čáry zeslábly i zásluhou vzrůstu svítivosti kontinua vlivem interakce.) Středně široké a úzké emisní čáry Balmerovy série s lorentzovskými profily (s širokými křídly) v té době převládaly právě kvůli prudkému začátku interakce, probíhajícímu díky zpomalení tlakové vlny v husté dříve vyvržené obálce. Opětovné objevení se širokých čar po vrcholení jasnosti šlo zase na vrub dříve skrytým rychlým vyvrženinám, znovu zahrátým radioaktivním rozpadem syntetizovaného

niklu  $^{56}\text{Ni}$  a později kobaltu. Mírné kolísání jasnosti po maximu (u supernov třídy II<sub>n</sub> běžné) bylo způsobeno střídavou změnou opacit prostředí výbuchu, patrně vlivem hustotních gradientů ve starší okolohvězdné látce.

Na výhrady výše uvedených alternativních scénářů je možné vznést oprávněné námitky. Supernovy podtřídy II<sub>n</sub> totiž ani většinou nevypadají jako běžné gravitační supernovy, s dobře definovatelným fotosférickým a nebulárním stadiem. Například klasické spektrální nebulární rysy zapříčiněné pozdním radioaktivním rozpadem kobaltu a jinými procesy bývají povětšinou zakryty právě díky stále převládající interakci vyvrženin s okolohvězdným materiálem. Již dávno byly snešeny důkazy, že mnoho supernov typu II<sub>n</sub> vykazovalo nebulární emisní čáry až ve velmi pozdních fázích vývoje; k jejich objevení se může dojít až za několik roků po explozi. Co se rozlišení výbuchu supernovy a výbuchu způsobeného pulsační párovou nestabilitou týká, hvězda i při pulsační nestabilitě může později kolabovat na černou díru a zaniknout, jenže pak by nemělo vůbec dojít k vytvoření radioaktivního izotopu niklu při výbuchu, jak je tomu v našem případě. Budiž také poukázáno na fakt, že hvězdný předchůdce ve skutečnosti nejspíš neměl počáteční hmotnost 100 až 130  $M_{\odot}$ , potřebnou ke vzniku pulsační nestability, neboť se na to v klidových obdobích mezi erupcemi zkrátka nejevil dostatečně svítivý.

Svítivostí v maximu i vzhledem pozdního spektra z konce roku 2012 se supernova 2009ip velmi podobá legendární supernově SN 1987A ve Velkém Magellanově oblaku, odhlédneme-li ovšem od jejího prvotního slábnutí v první půlce září, a dále od přítomnosti úzkých emisních čar ve spektrech a od zvýšeného podílu interakce na celkové svítivosti. Odhadujeme, že supernova 2009ip vytvořila jen okolo poloviny radioaktivního niklu, než kolik vyprodukoval výbuch kompaktního předchůdce SN 1987A. Pozdní světelná křivka z jara roku 2013, zhruba 200 dní po hlavní explozi, se sice již „narovnávala“ a ustalovala, zdroj v té době však byl i přesto stále 40 krát svítivější než původní předchůdce. To lze vnímat jako potvrzení skutečnosti, že hvězda musela zaniknout jako supernova.<sup>6</sup>

Dodatečně se ukázalo, že SN 2009ip se stala teprve druhá zaznamenaná hvězda LBV a současně supernova–podvodník, kterou jsme viděli projít erupcí bezprostředně před zhroucením na skutečnou supernovu. (Prvenství v tomto ohledu drží supernova SN 2006jc z galaxie UGC 4904.) Zato byla vůbec první známý podvodník, který měl v době konečného výbuchu stále přítomnu vodíkovou obálku. (Původce SN 2006jc ji, ostatně v souladu s ustálenějším pojetím teorie hvězdného

---

<sup>6</sup> Mimočodem stojí za to zde upozornit, že celkově se supernova SN 2009ip chováním spektra v hlavních rysech podobala supernově SN 2011ht. Ta patří k počtem vzrůstající podtřídě II<sub>n</sub>-P, vyznačující se po vrcholu jasnosti dlouhotrvajícím plató na světelné křivce (kolem 120 dnů) řízeným převážně interakcí vyvrženin a poté rychlým poklesem svítivosti způsobeným neobvykle nízkou tvorbou izotopu  $^{56}\text{Ni}$  (asi 0,01  $M_{\odot}$ ). S tím koinciduje relativně malá energie explozí supernov této podtřídy a jejich nižší absolutní jasnost v maximu přibližně  $-18$  mag. O SN 2011ht a jejím vizuálním pozorování jsme už psali v Povětroni 1/2013.



vývoje, ztratil již dříve před výbuchem. Kolaboval totiž nakonec jako Wolfova-Rayetova hvězda na supernovu typu Ibn.)

## Vizuální pozorování v Hradci Králové

\*

Na závěr k vlastnímu pozorování této supernovy. Její hostitelská galaxie typu Sb má jasnost jen 13,1 mag a na nebeské sféře zabírá plošku pouze  $1,1' \times 0,9'$  (s nezřetelnými okraji možná až  $1,4' \times 1,2'$ ). Můžeme ji sledovat  $9^\circ$  západně od jasné hvězdy Fomalhaut neboli  $\alpha$  Piscis Austrini (1,2 mag),  $2^\circ$  jihovýchodně od hvězdy  $\lambda$  Piscis Austrini (5,5 mag). Supernova sama svítila na souřadnicích  $\alpha = 22\text{ h }23\text{ min }8,26\text{ s}$ ,  $\delta = -28^\circ 56' 52,40''$ , což je  $36,2''$  východně a  $25,1''$  severně od jádra, v okrajové části galaxie. Její úhlová vzdálenost od středu odpovídá fyzické vzdálenosti přibližně 15 tisíc sv. r. Hvězda zdá se vybuchla v galaktickém disku, přesto však v prostředí značně chudém na kovy a vypadá to také, že se vyskytla v relativně izolovaném místě. V jejím širším okolí totiž nenarazíme na žádné slabé spirální rameno ani na blízkou hvězdokupu nebo oblast HII, v nichž by probíhala zjevná tvorba hvězd. To je ovšem velmi nezvyklé i na supernovu typu II<sub>n</sub>, které se společně se supernovami-podvodníky nezřídka objevují právě v odlehlých částech hostitelských galaxií, kde nevznikají nové hvězdy. Přesto předchůdce měl, jak už víme, velkou hmotnost, takže jej můžeme považovat za výsledek osamocené hvězdné tvorby.

Uvidět tuto historicky unikátní explozi se poštěstilo 11. října, takže příhodně jen několik málo dní po maximu a navíc čtyři dny před novem. Bylo to i jinak dobře načasováno, neboť téměř přesně ve 22 hodin supernova právě kulminovala. Nedá se však říci, že by její pozorování bylo zrovna snadné, jelikož kulminace probíhala nízko nad obzorem. Velkou pomocí byla perfektně „vyčištěná“ obloha. I tak byla mateřská galaxie viditelná jen stěží v náznaku a úhlově blízká hvězda 14,4 mag nešla vidět vůbec, nicméně supernova samotná ano. Nebyla to samozřejmě žádná oku lahodící podívaná, cílem bylo ji vůbec spatřit. Jasností se v této době poklesu po maximu mohla blížít ke 14. hvězdné velikosti. Relativně dobré atmosférické podmínky se opakovaly ještě 19. října (snaha o spatření byla vyvíjena mezi 22 a 23 h), ale pozorování znepříjemňovala zvýšená vzdušná vlhkost, způsobující rosení optiky. Negativní vliv měla i skutečnost, že supernova nadále slábla, a tudíž se z ní při druhém pokusu už nepodařil vědomě zaregistrovat „ani foton“. Na přelomu října a listopadu SN 2009ip údajně zeslábla na 15 mag a v polovině prosince na 18 mag. Na konci roku 2012 zmizela z oblohy v záři Slunce a z této konjunkce se opět vynořila na noční obloze až někdy v dubnu následujícího roku.

\*

- [1] FRASER, M. A. J. *SN 2009ip à la PESSTO: No Evidence for Core-collapse yet*. Mon. Not. R. Astr. Soc., **433**, 2, 2013.
- [2] LEVESQUE, E. M., STRINGFELLOW, G. S., GINSBURG, A. G., BALLY, J., KEENEY, B. A. *The Peculiar Balmer Decrement of SN 2009ip: Constraints on Circumstellar Geometry*. Astron. J., **147**, 23, 2014.
- [3] MAUERHAN, J. C., SMITH, N., FILIPPENKO, A. V. A. J. *The Unprecedented 2012 Outburst of SN 2009ip: A Luminous Blue Variable Star Becomes a True Supernova*. Mon. Not. R. Astr. Soc., **430**, 3, 2013.
- [4] PASTORELLO, A. A. J. *Interacting Supernovae and Supernova Impostors. SN 2009ip, is this the end?* Astrophys. J., **767**, 1, 2013.
- [5] PRIETO, J. L., BRIMACOMBE, J., DRAKE, A. J., HOWERTON, S. *The 2012 Rise of the Remarkable Type II In Supernova SN 2009ip*. Astrophys. J., **763**, 2, L27, 2013.
- [6] SMITH, N., MAUERHAN, J. C., PRIETO, J. L. *SN 2009ip and SN 2010mc: Core-collapse Type II In Supernovae Arising from Blue Supergiants*. Mon. Not. R. Astr. Soc., **438**, 2, 2013.
- [7] SOKER, N., KASHI, A. *Explaining the Supernova Impostor SN 2009ip as Mergerburst*. Astrophys. J., **764**, 1, L6, 2013.

## Zpráva o činnosti JST a HK25 za rok 2014

Martin Lehký

Během uplynulého roku se vyskytlo na automatizovaném dalekohledu Jana Šindela (JST; 0,40 m,  $f/5$ ) několik drobnějších závad, přičemž nejpodstatnější je bezesporu špatné najíždění v deklinaci. Posun na požadovanou pozici je poměrně obtížný a musí se často „poskakovat“ od hvězdy ke hvězdě a aktuální polohu neustále porovnávat s mapou. Proběhl sice jeden servisní zásah, nicméně došlo pouze k mírnému zlepšení a problém zůstává v principu nevyřešen. Doufejme, že se v novém roce dočkáme brzké nápravy a dalekohled bude opět v dobré kondici.

S ohledem na výše popsanou skutečnost musel být upraven pozorovací program. Omezení se dotklo především astrometrie malých těles Sluneční soustavy, fotometrie fyzicky proměnných hvězd a aktivních galaktických jader, tedy programu, který vyžaduje poměrně časté přejezdy montáže dalekohledu. Ve výsledku tak byly sledovány převážně zákrytové dvojhvězdy z projektu Sekce proměnných hvězd a exoplanet (SPHE) při České astronomické společnosti. Jejich výběr se stejně jako v letech minulých opíral o zajímavý  $O - C$  diagram vykazující sinusoidální změny, stáčení přímky apsid nebo zkracování či prodlužování periody. Navíc byla tentokrát pro snadnější přejezd montáže zvažována i poloha hvězdy na obloze, a pokud to bylo možné a vhodné, byly preferovány delší pozorovací řady. Všechny snímky z JST byly pořízeny pomocí CCD kamery G2-1600 se sadou standardních filtrů BVRcIc. Během 69 nocí se do výběru dostalo celkem 45 hvězd a výsledná fotometrie přinesla 264 okamžiků minim. Na žádost docenta Marka Wolfa z MFF UK byly sledovány také 2 excentrické zákrytové dvojhvězdy s výsledkem 12 okamžiků minim.

Platná kalibrace JST na standardní Landoltova pole umožnila pokračování fotometrie fyzicky proměnných hvězd. Sledovány byly 2 erupční hvězdy: AX Per a YY Her (60 měření), 1 supernova SN 2014J v galaxii NGC 3034 UMa (560 měření), 2 pulzující hvězdy: NSVS 11307790 Aql a V1107 Her (198 měření) a 1 hvězda bez určeného typu proměnnosti ASAS J175019+0429.1 Oph (217 měření). Do zorného pole se také dostala 3 aktivní galaktická jádra: NGC 4151 CVn, MKN 421 UMa a NGC 7469 Peg (389 měření).

Pod odsuvnou střechou vedle hlavního dalekohledu JST byla po celý rok v činnosti také sestava HK25: montáž EQ-6 nesoucí reflektor 0,25 m,  $f/3,92$  vybavený CCD kamerou ST-7 s filtrem Rc. Během 73 nocí bylo fotometricky sledováno 78 zákrytových proměnných hvězd z projektu SPHE a získáno 123 okamžiků minim. Z fyzických proměnných hvězd se do zorného pole dostala pulzující VV Boo (176 měření).

Do statistiky za rok 2014 je možné také zahrnout následující pozorování. Na jaře jsem navštívil soukromou hvězdárničku MontePa v Pavlovicích nedaleko Vyškova a spolu s Petrem Hájkem jsem pomocí reflektoru 0,20 m,  $f/4$  s CCD kamerou ST-6 sledoval jednu zákrytovou proměnnou hvězdu z projektu SPHE a podařilo se získat jeden okamžik minima.

Ve druhé polovině roku pak započaly testy nového plně robotického dalekohledu Blue Eye 600, který je umístěn v areálu Ondřejovské observatoře. Jedná se o výsledek společného projektu firmy Projectsoft a Astronomického ústavu MFF UK, který byl uskutečněn díky grantové podpoře Technologické agentury České republiky (TAČR). Ultra rychlá alt-azimutální montáž umožňující pohyb až  $45^\circ/s$  nese teleskop RiLA (0,60 m,  $f/5$ ) typu Ritchey-Chrétien s CCD kamerou osazenou citlivým senzorem E2V 42-40 NIMO. Během zkoušek se podařilo získat i několik použitelných měření. Jako první byla sledována zanedbaná zákrytová proměnná hvězda V651 Cyg z programu SPHE (1 okamžik minima), dále dvě krátkoperiodické kataklyzmatické zákrytové proměnné hvězdy IP Peg a PX And z programu NYX a také byla provedena fotometrie malé planetky (3200) Phaethon. Dále se do zorného pole dostaly mimoděk dvě pulsující a jedna zákrytová proměnná hvězda (celkem 296 měření).

Zvýšená pozornost byla letos věnována rodině proměnných hvězd HKV, objevených na královehradecké hvězdárně. Dalekohled JST sledoval HKV15 Gem (6 okamžiků minim) a dalekohled HK25 pak sledoval HKV10 Cam a HKV14 Cas (4 okamžiky minim). Oba dalekohledy se pak zapojily do systematického sledování dříve nalezených a prozatím neregistrovaných a nepublikovaných proměnných hvězd. Celkem bylo sledováno 18 hvězd a získáno 79 okamžiků minim a u jedné fyzicky proměnné 3253 měření. Rodina HKV se dočkala dvou přírůstků — oba se nacházejí v souhvězdí Lyry. Potěšující je, že po delší době byl výdej provizorních objektů vyšší než příjem. Ve třech případech se totiž

podářilo dostatečně pokrýt fázové křivky, určit elementy a hvězdy zaregistrovat na AAVSO Variable Star Indexu. Počátkem prosince přibýly HKV16 Aur (EW;  $P = 0,4568065$  d;  $R_c = 12,85$  až  $13,40$  mag), HKV17 Gem (EW;  $P = 0,3543709$  d;  $R_c = 14,09$  až  $14,70$  mag) a HKV18 Boo (EB;  $P = 0,402291$  d;  $R_c = 12,38$  až  $12,56$  mag).

Velké poděkování patří za podporu Hvězdárně a planetáriu v Hradci Králové, docentu Marku Wolfovi z MFF UK v Praze za zapůjčení CCD kamery G2–1600 a celé řadě dalších lidí, bez jejichž podpory by nemohla být výše uvedená pozorování uskutečněna. V neposlední řadě patří velké díky i ASHK.

Většina fotometrických pozorování byla publikována v databázi BRNO SPHE (a připravena k publikaci v Open European Journal on Variable stars), MEDUZA SPHE nebo zaslána vedoucím daných projektů.

## Přehled vizuálních pozorování za rok 2014

Martin Lehký

Vizuální pozorování probíhala na zahradě u domečku — observační základny Astronomické společnosti v Hradci Králové, která se nachází v areálu Hvězdárny a planetária v Hradci Králové. Z přístrojového vybavení jsem využíval oblíbenou dvojici: skládací reflektor 0,42 m,  $f/5$  (zvětšení  $81\times$  a  $162\times$ ) na Dobsonově montáži a Somet Binar  $25 \times 100$ .

Primárním programem bylo tradičně vizuální pozorování komet, kde bývá úkolem určení celkové jasnosti komy, úhlového průměru komy, stupně centrální kondenzace a v případě přítomnosti chvostu určení jeho pozičního úhlu a délky.

Během roku 2014 jsem spatřil celkem 7 komet a získal 27 odhadů celkové jasnosti komy. Titul „Nejjasnější kometa roku“ získala kometa C/2014 E2 (Jacques), která zdobila letní oblohu. Při pohybu z Vozky do Kassiopey prožívala období maximální jasnosti a na sklonku srpna jsem ji odhadl na 6,7 mag. Druhé místo pak opět obsadila kometa C/2013 R1 (Lovejoy), která výrazně slábla a 26. ledna jsem ji zastihl na 7,1 mag. Dále se pod hranici 10. magnitudy ještě dostala kometa C/2012 K1 (PanSTARRS) s jasností 7,9 mag. Pakliže minulý rok byl nezvykle bohatý na jasné komety, rok 2014 přinesl půst.

Co se týká pozorování aktivních galaktických jader, získal jsem celkem 6 vizuálních odhadů jasnosti od NGC 4151 CVn, MKN 421 UMa, 3C 66A And a BL Lac.

Pokračoval i odpočinkový program — pozorování jasných fyzicky proměnných hvězd. Celkem jsem sledoval 15 pulzujících hvězd (415 odhadů jasnosti), 4 erupтивní hvězdy (65 odhadů jasnosti) a supernovu SN 2014J (29 odhadů jasnosti). Suma sumárum 20 hvězd a 509 odhadů jasnosti.

Získaná pozorování komet byla odeslána do hlavní celosvětové databáze International Comet Quarterly (ICQ) a poskytnuta také několika lokálním databázím. Vizuální pozorování aktivních galaktických jader a fyzicky proměnných hvězd byla publikována v databázi MEDUZA Sekce proměnných hvězd a exoplanet při ČAS.