Pozorování dvoumetrovým dalekohledem v Ondřejově

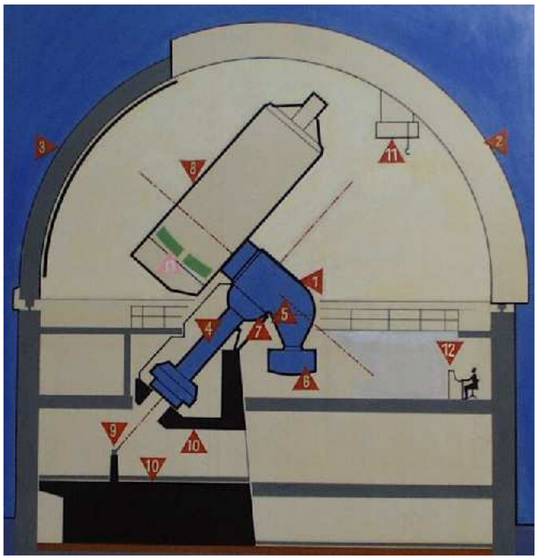
Michal Švanda, Tereza Šedivcová

21. května 2002

1 Úvod

Observatoř v Ondřejově byla založena v roce 1898 Josefem Janem Fričem coby soukromá hvězdárna. Po druhé světové válce byly největšími dalekohledy v tehdejším Československu dva šedesáticentimetrové reflektory (v Brně a na Skalnatém Plese). Astronomové vznesli požadavek na stavbu podstatně většího přístroje. Proto v roce 1958 došlo ke zpracování projektu na stavbu dvoumetrového dalekohledu firmou *Carl Zeiss Jena*.

V roce 1963 byla zahájena stavba kopule, v roce 1966 pak k montáži dalekohledu. Dalekohled byl uveden do oficiálního provozu 23. srpna 1967. Podrobnosti v příloze A.

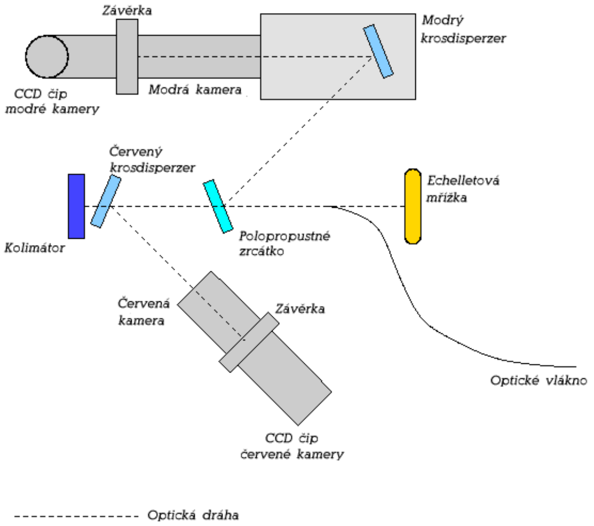


Obrázek 1: Schéma dvoumetrového dalekohledu. 1 – podpůrná montáž dalekohledu, 2 – kopule, 3 – štěrbina, 4 – hodinová osa, 5 – deklinační osa, 6 – protizávaží, 7 – hydraulické ložisko, 8 – tubus, 9 – coudé ohnisko, 10 – pilíř, 11 – jeřáb, 12 – velín dalekohledu, 13 – primární zrcadlo dalekohledu.

V roce 1981 došlo k modernizaci ovládací elektroniky dalekohledu, v letech 1997 až 1998 došlo k nové modernizaci ovládacího systému dalekohledu a přechodu na řízení počítači PC, které funguje dodnes.

Dalekohled je schopen pracovat ve třech optických systémech – v primárním ohnisku (ohnisková vzdálenost 9 m), cassegrainově ohnisku (29,16 m) a coudé ohnisku (64 m). V současnosti se nejčastěji používá cassegrainovo ohnisko, na nějž je připojen echelletový spektrograf.

Echelletový spektrograf je přístroj, jež využívá disperze spektra do vyšších řádů, kde lze dosáhnout většího spektrálního rozlišení. Ve vyšších řádech již dochází k překryvu jednotlivých spekter, proto je v tomto typu spektrografu zařazen ještě jeden disperzní člen pracující „kolmo“ na první mřížku, jež od sebe odděluje jednotlivé řády. V Ondřejově se signál rozdvojuje do dvou kanálů selektivně polopropustným zrcadlem, takže na každou ze dvou CCD kamer dopadá jiná část spektra.



Obrázek 2: Schéma echelletového spektrografu v Ondřejově

Současným výzkumným úkolem dvoumetrového dalekohledu v Ondřejově je pořizování hvězdných spekter především horkých hvězd.

2 Pozorování

Dne 21. května 2002 jsme se zúčastnili pozorovací noci na dvoumetrovém dalekohledu v Ondřejově. Přítomni byli Josef Havelka, RNDr. Jiří Kubát, CSc., RNDr. Miroslav Šlechta, PhD., doc. RNDr. Zdeněk Mikulášek, CSc., Tereza

Šedivcová a Michal Švanda. Náplní pozorování byla jak jinak než spektra hvězd. Seznámili jsme se s optikou a přístroji dalekohledu a byli přítomni všem procedurám, které je nutno provést k úspěšnému zakončení měření. Souhrn všech měření shrnuje tabulka 1.

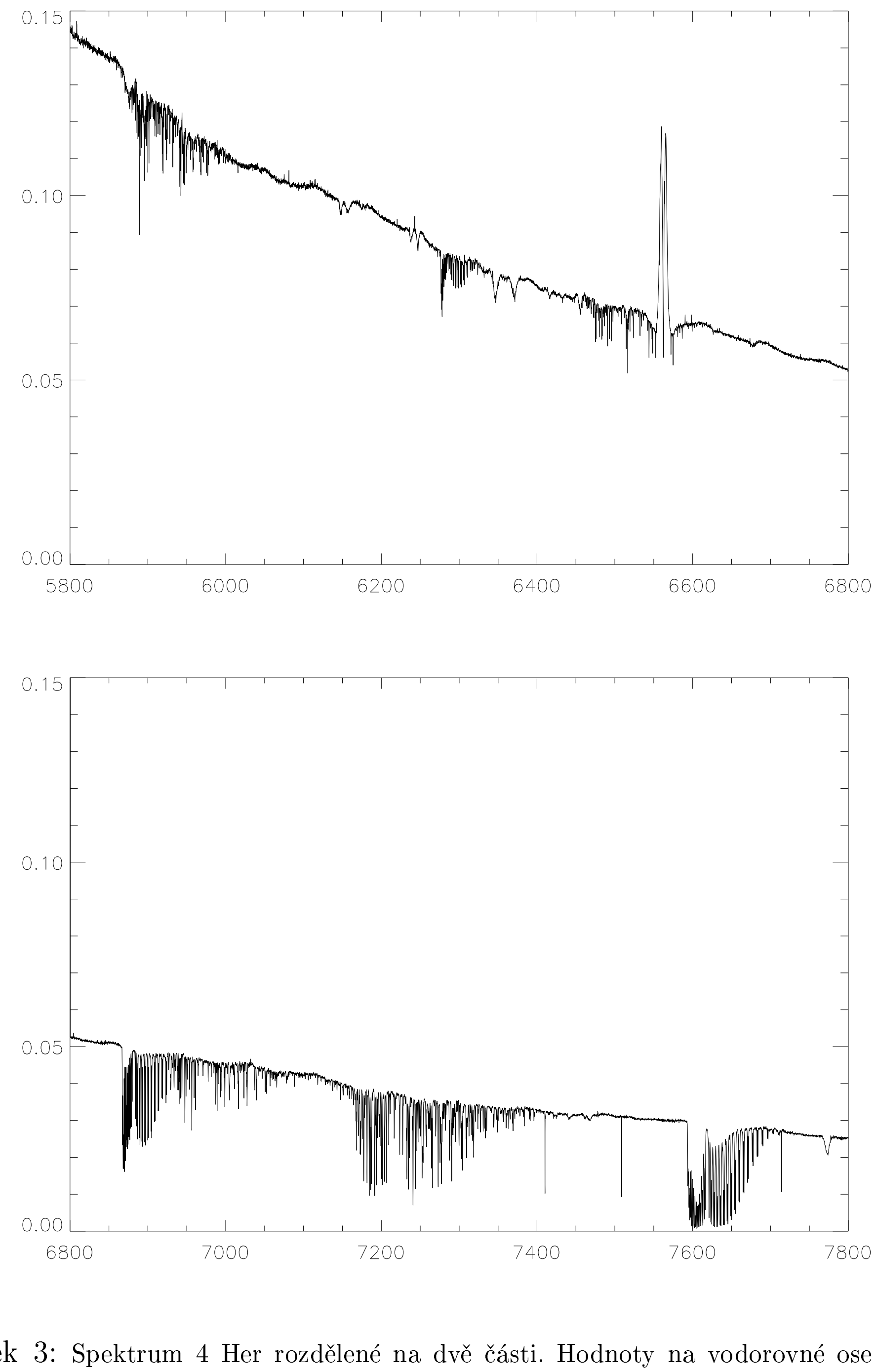
Číslo souboru	**Objekt**	**Start [UT]**	**Expoziční čas [s]**	
			červený	**modrý**
3946	flat-field	19:49	45	35
3947	flat-field	19:51	45	35
3948	ThAr	19:54	200	135
3949	ThAr	19:59	200	135
3950	ε UMa	20:04	1 800	1 800
3951	ThAr	20:39	200	135
3952	flat-field	20:44	45	35
3953	flat-field	20:55	45	35
3954	ThAr	20:58	200	135
3955	CQ UMa	21:03	10 000	10 000
3956	ThAr	23:53	200	135
3957	flat-field	23:59	45	35
3958	flat-field	00:07	45	35
3959	ThAr	00:10	200	135
3960	96 Her	00:17	7 200	7 200
3961	ThAr	02:24	200	135
3962	flat-field	02:30	45	35
3963	flat-field	02:32	45	35

Tabulka 1: Pozorování v noci z 21. na 22. 5. 2002

Během dlouhé expozice hvězdy *CQ UMa* jsme byli Miroslavem Šlechtou seznámeni s procedurou redukce spekter získaných echelletovým spektrografem v Ondřejově. Pan Šlechta provedl ukázkovou redukci na hvězdě *4 Herculis*, pozorované v Ondřejově dne 30. 4. 2002. Výsledné FITS soubory nám byly poskytnuty k dalšímu zpracování, které jsme provedli v programu IDL. Veškeré obrázky zde prezentované jsou vytvářeny právě tímto programem. Všechny publikované grafy mají na vodorovné ose vlnovou délku v angströmech a na svislé měřenou relativní intenzitu.

3 Zpracování dat

Po skončení pozorování nám byla poskytnuta dvě redukovaná spektra – ukázkové spektrum hvězdy *4 Her* (soubor číslo 3734) a jedno z již dále zpracova-



Obrázek 3: Spektrum 4 Her rozdělené na dvě části. Hodnoty na vodorovné ose jsou vlnové délky v angströmech.

ných spekter standardní hvězdy η *UMa* z 2. 4. 2002 (soubor číslo 1832), které je příkladem nerektifikovaného, ale několika neduhů zbaveného redukovaného spektra (viz Diskuse).

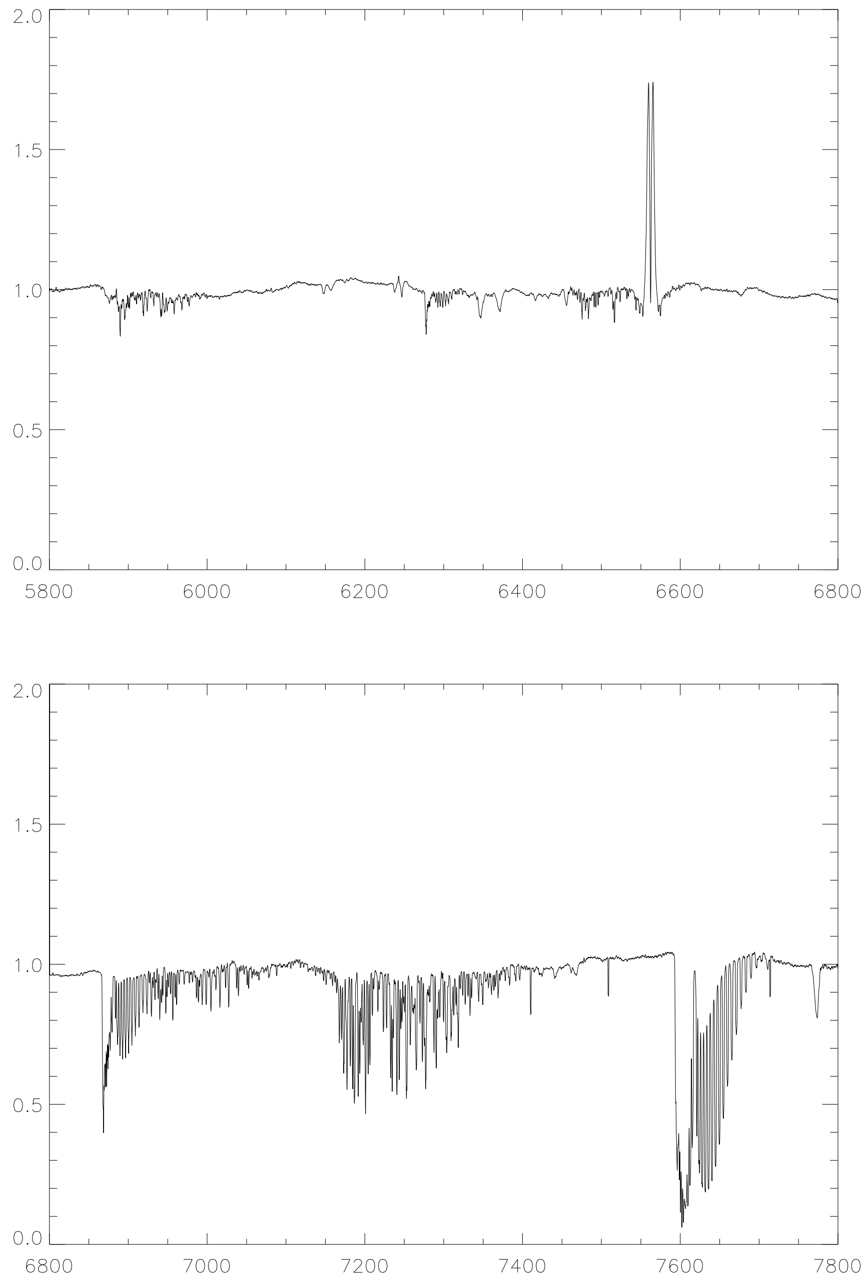
Pro čtení souborů ve formátu FITS byla použita procedura `readfits.pro` napsaná v roce 1988 W.B. Landsmanem.

Redukované spektrum je potřeba pro další používání *rektifikovat*, tedy upravit tak, aby intenzita kontinua spektra měla ve všech částech hodnotu 1. Pro tyto účely jsme si napsali krátký program v jazyce IDL. Program pracuje tak, že uživatel zadá pomocí myši („okometricky“) dvacet bodů ze spektra, o nichž se domnívá, že jsou právě body kontinua. Těmito body se pak proloží polynom zvoleného řádu (my jsme použili řád pátý), z koeficientů polynomu se zkonstruuje „modelové kontinuum“, jímž se pak redukovaná data vydělí. Získáme tak rektifikované spektrum.

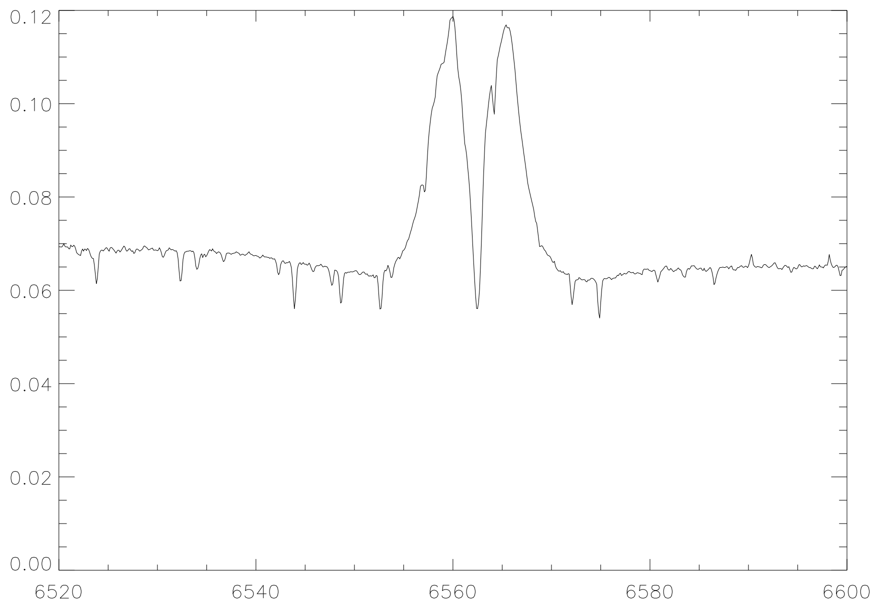
```
PRO Rect, xdata, ydata, stup, cont
  plot, xdata, ydata
  print, 'Mysi odklikej dvacet bodu kontinua'
  for i=1,20 do begin
    cursor, a, b, /wait
    if (i eq 1) then begin
      x=a & y=b
    endif else begin
      x=[[x],[a]] & y=[[y],[b]]
    endelse
    print, i, '. bod - ', a, b & wait, 2
    print, 'Oznac dalsi'
  endfor

  yfit=poly_fit(x,y,stup)
  cont=0.
  for i=0,stup do begin
    cont=cont+yfit[i]*xdata^i
  endfor
  plot, xdata, cont & wait, 2
  plot, xdata, ydata/cont
END
```

Vsuvka 1: Zdrojový text programu, použitého pro rektifikaci spekter.

Vstupními parametry programu jsou redukovaná data (`ydata`), jejich indexy (odpovídající vlnové délky `xdata`) a stupeň prokládaného polynomu (`stup`). Výstupem je pak pole `cont` stejného rozměru, jako `ydata`, obsahující modelové kontinuum.



Obrázek 4: Spektrum 4 Her rektifikované programem napsaným v jazyce IDL



Obrázek 5: Výřez ze spektra 4 Her v okolí čáry Hα.

Hvězda *4 Her* vykazuje ve svém spektru výrazné emisní čáry vodíku, z čehož usuzujeme, že jde o hvězdu s vodíkovou obálkou.

Na základě odečtené vlnové délky čáry Hα jsme provedli odhad radiální rychlosti hvězdy. Protože je určení radiální rychlosti prováděno pouze z měření jedné spektrální čáry, nejde skutečně o nic jiného, než o odhad, zatížený zřejmě chybou řádu desítek procent.

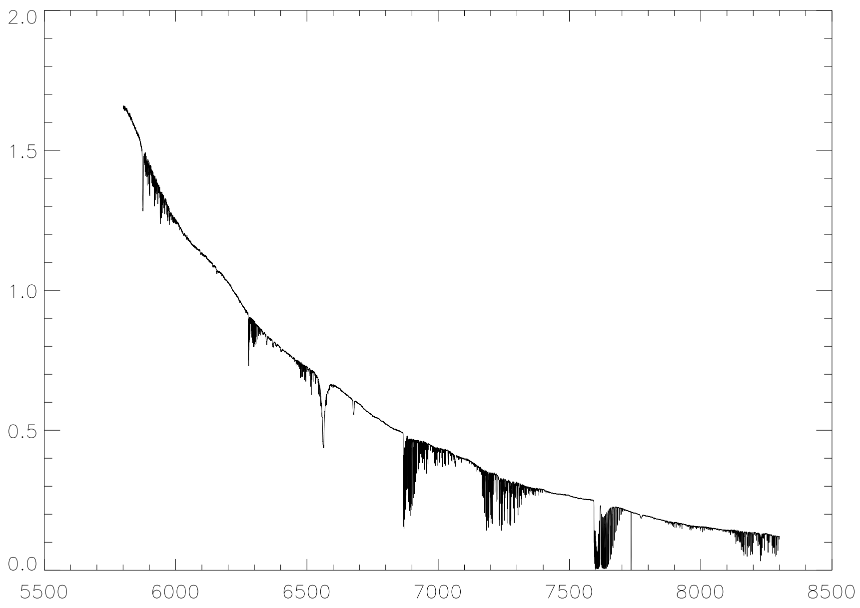
Z dat jsme odečetli vlnovou délku čáry Hα: $\lambda = (656{,}246 \pm 0{,}010)$ nm. Na internetu jsme si našli tabelovanou hodnotu vlnové délky stejné čáry $\lambda_0 = 656{,}281$ nm. Podle vzorce

$$v_r = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0} c, \tag{1}$$

kde c je rychlost světla, jsme vypočetli radiální rychlost 4 Her.

$$\mathbf{v_r \simeq -16\ km \cdot s^{-1}}.$$

Podle našich odhadů se tedy hvězda *4 Herculis* přibližuje ke Slunci rychlostí 16 km$\cdot$ s^{-1}.



Obrázek 6: Hladké spektrum hvězdy η UMa – jsou do značné míry korigovány efekty způsobené sešíváním řádů. Na vodorovné ose jsou vyneseny vlnové délky v angströmech.

4 Diskuse a závěr

Pozorování dvoumetrovým dalekohledem je rutinní záležitost, vlastní práce začíná teprve redukcí naměřených spekter a jejich interpretací. Již při pozorování jsme byli upozorněni na některé neduhy stávajícího systému (např. problémy s optickým vláknem, přesněji jeho délkou). Mnohem většími problémy je ale zatížena až vlastní redukce spektra. Je totiž nesmírně obtížné provést přesné sešívání několika (přibližně třiceti) řádů spektra do jednoho výsledku. V důsledku toho je redukované spektrum „vlnkovaté“ a tyto vlny způsobené zpracováním nelze jednoduše odstranit. Tento problém se projeví především při rektifikaci spektra, jak je vidět na přiložených obrázcích.

Úsilím pracovníků v Ondřejově ve spolupráci s autory programu MIDAS, jímž je redukce prováděna, bylo v poslední době dosaženo dílčího úspěchu při sešívání spekter, který můžete sami posoudit na přiloženém spektru hvězdy η *UMa*.

Problém rektifikace spektra je zmiňován mnoha autory, zdá se, že nejosvědčenější metodou je metoda „okometrická“ využívající zkušenosti, které my bohužel nemáme. V důsledku toho má námi provedená rektifikace pouze ilustrativní význam.

Výpočet radiální rychlosti by bylo zapotřebí provádět z více spektrálních čar a výsledek statisticky zpracovat. Bylo by též vhodnější zvolit čáry výrazné, ale úzké a neměřit pouze minimum čáry, nýbrž ji označit celou a provést na ni fitaci nějakého vhodného modelového profilu (například gaussovského), z něhož by se střední hodnota polohy čáry snadno vypočetla. Tím by se do jisté míry eliminovaly chyby odečtu minima čáry.

5 Poděkování

Rádi bychom poděkovali pracovníkům stelárního oddělení Astronomického ústavu AV ČR v Ondřejově za poskytnutí možnosti praktického pozorování s dvoumetrovým dalekohledem. Děkujeme zvláště Miroslavu Šlechtovi za poskytnutí všech informací, které pomohly k napsání tohoto referátu.

Schémata použitá v této práci pocházejí z webové stránky dvoumetrového dalekohledu na adrese `http://stel-www.asu.cas.cz`.

A Historie dvoumetrového dalekohledu

15. duben 1963	zahájení stavby
květen 1963	výkop základů kopule
září 1963	betonové podlahy základů
říjen 1963	cihlová přizdívka
listopad 1963	výstavba obvodové zdi kopule
1. únor 1964	dokončení obvodové zdi kopule
duben 1964	příjezd montérů a příprava kusů kostry kopule
červen 1964	elektroinstalace
červenec 1964	spojení podzemní chodbou
srpen 1964	oplechování kopule
září 1964	otevírají se vrata štěrbiny
říjen 1964	vnější vzhled kopule hotov
prosinec 1964	montáž jeřábu v kopuli
17. prosince 1964	kolaudace kopule
1965	broušení zrcadla
leden 1966	montáž dalekohledu v Jeně
říjen 1966	přejímka v Jeně a demontáž
17. října 1966	postaven derrick [1]
19. října 1966	přivezen tubus a protizávaží
2. listopadu 1966	přivezeno zrcadlo; usazena první část montáže
13. prosince 1966	instalován hodinový pohon
16. prosince 1966	montáž hodinové osy
12. ledna 1967	usazen osový kříž
31. ledna 1967	usazen tubus a protizávaží
8. března 1967	první pozorování hledáčkem: Jupiter
23. srpna 1967	slavností uvedení dalekohledu do provozu
13. října 1967	první pořízené spektrum: Nova Delphini

[1] derrick je těžký jeřáb, který se použil při montáži kovové kopule a dalekohledu