

Hvězdné spektroskopie

Jan Hollan, Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně

7. října 1993

1 Úvodní úvahy

(Shrnutí počátečních rozvah a empirických poznatků, suplujících mou malou erudici v konstrukci optických přístrojů)

31. 5.1993:

Jeden spektroskop již užíváme dlouho: čočkový dalekohled s hranolem před objektivem. Hranol má průměr 7 cm, objektiv bohužel jen 5.5 cm. Podstatnou vadu má přístroj jako hvězdný spektroskop jen jednu: zaostřená spektra hvězd v něm mají nulovou úhlovou šířku, a není tedy vidět absorpční čáry (slabší bod na jasné přímce oko nepostřehne, na rozdíl od tmavší čáry napříč pásku tlustého alespoň několik desetin stupně). Zdokonalení je nasnadě: doplnit optickou soustavu válcovou čočkou (řekněme 3.5 D), která by obraz hvězdy v ohniskové rovině objektivu (či alespoň pozorovaný okulárem) roztáhla na požadovanou úhlovou šířku (pokud možno volitelnou pomocí posunu válcové čočky v tubusu). Takovou čočku jsem koupil a nechal na průměr 23.5 mm obrousit v Oční optice (celkem asi za 80 Kč); až zhotovím vhodný držák, půjde čočka zařadit mezi objektiv a okulár dalekohledu. (Zařazení až za okulár nevyhovuje u přinejmenším u okulárů Huyghensova typu či zkrátka těch, které mají malou „eye relief“ – není pak vidět plné zorné pole, neb se zřítelnice se nedostane do výstupní pupily přístroje. A krom toho je rozostření při užití výstupní pupily pod 3 mm nedostatečné.) Další drobná vada tohoto dalekohledu je, že se špatně míří – hlavně na nebe. Je pěkné vidět s ním, že planetární mlhoviny jsou v něm stejné jako bez hranolu, ale není to snadné.

Jiná možnost, jak vidět spektra hvězd, je vzít spektroskop hotový (jako je ten zapůjčený od prof. M. Šulce) a jen jej užít místo okuláru. K tomu jsem

vyrobil „redukci“ z průměru spektroskopu na průměr standardního okuláru; s touto redukcí již lze pozorovat hvězdná spektra nejjasnějších hvězd. Jen je nutné dát šterbinu spektroskopu kolmo k Polárce, aby hvězda ujížděla při nepřesném pohybu dalekohledu podél šterbiny a ne napříč.

28. 9.1993:

Další pokusy jsem konal s hranolem o lámavém úhlu 45° (s tím nejobvyklejším, tj. rovnoramenným hranolem na totální odraz na úhlu pravém) a malým dalekohledem za ním, který bylo možno zaostřit hodně na blízko. Takovou dvojici jsem umísťoval rovnou kus za ohnisko objektivu velkého dalekohledu (tak daleko, aby to šlo zaostřit), na hranol tedy dopadalo rozbíhavé světlo. Hranol pak působil žádoucí astigmatismus, což jsem ani předem nečekal – zaostřené spektrum bylo příčně rozšířeno (a naopak hvězda zaostřená na čáru byla spektrálně rozmytá). Spektrum však dost ostré nebylo – v nekolimovaném světle může tak hranol dobře fungovat jen při malinké světelnosti objektivu (jako u našeho heliostatu se světelností $12/800=1/67$), při světelnosti $1/15$ je i při užití hranolu pod úhlem minimální deviace spektrum rozmazané.

2 Spektroskop, který užíváme

Nyní máme již hotový spektroskop vyhovující. Za hranolem je obyčejný malý dalekohled, zvětšující jen asi pětikrát. Před hranolem je pak speciální okulár, z něhož jde na hranol světlo ve spektrálním směru kolimované.

Proč okulár speciální? Jednak kvůli příčnému roztazení spektra (hlavní dalekohled musí být takovým okulárem astigmatizován), ale hlavně kvůli malému zvětšení hlavního dalekohledu. Kdybychom totiž užili okuláru např. H40 (tedy s ohniskovou délkou 40 mm), pak při objektivu s ohniskovou délkou 225 cm dostáváme zvětšení $56\times$, a i když to pak malým dalekohledem zvětšíme jen $5\times$ (méně to nejde, to by byla spektra už moc kratičká), celkem pak pracujeme se zvětšením skoro $300\times$, při němž nám spektrum již rozmazává neklid vzduchu. Kolimující okulár musí dávat velmi malé zvětšení. Užijeme-li jako okuláru např. malého objektivu s ohniskovou vzdáleností 10 cm, tak je to lepší, ale má to nevýhodu, že je pak spektroskop velmi vystrčený (a já jsem měl dokonce objektiv s asi 25 cm ohniskovou délkou). A to je takový okulár ještě potřeba doplnit válcovou čočkou.

Řešení mi přinesly mé brýle: jako okuláru jsem užil rozptylku $-6\text{ D} / -6.5\text{ D}$. Hlavní dalekohled se tak stal galileovským (tj. velkým kukátkem), se zvětše-

ním $11\times$ a s astigmatismem 0.5 D. V první verzi jsem užil čočky ze starých brýlí, kterou jsem obrousil na rozích a přilepil na okulárovou přírubu. V další verzi jsem užil nové čočky, v obchodě obroušené na průměr 30 mm (hodilo by se spíš 36 mm), kterou jsem vysadil asi 5 cm před přírubu, aby při výměně kolmého okulárového konce za spektroskop bylo spektrum zaostřené. Tedy, zaostřené na oranžovou až $H\beta$, na $H\gamma$ je vinou barevné vady sestavy nutno trochu přeastřit. Ostření, je-li nutné (pokud předtím byl užit rovný okulárový konec), se provádí výhradně výtahem hlavního dalekohledu – zaostření spektra znamená, že světlo jde na hranol zkolimované, což je nutné. Kdo nosí brýle, má smůlu, přeastřit si to na sebe nemůže. To by muselo být ostření malého dalekohledu opatřeno stupnicí mohutností, což t.č. není – užíváme hledáčku odmontovaného z našeho N15, a okulár je zakápnut lepidlem. (Zaostření prohlížečícího dalekohledu se testuje pozorováním vzdálených výbojek, samozřejmě bez rozptylky před hranolem.) Kdybychom užili k prohlížení spektra např. malý monar 7×50 či ještě menší, pak by se na spektra dalo hledět i bez brýlí.

Pak je také nutné, aby spektroskopický konec (bez rozptylky i s ní) při připevnění k dalekohledu mířil na jeho objektiv (tj. aby jeho optická osa splývala s osou hlavního dalekohledu). K tomu musí být především kolmo na osu hlavního dalekohledu příruba, do které se okulárový konec upevňuje – teď to tak je, ale nedrží příliš pevně a nesmí se na ni působit žádným momentem síly. A také musí být správně navlečena na (zahnuté) optické ose rozptylka, hranol i malý dalekohled – také to tak teď je, ale spektroskopický konec není nijak robustní a jest jej brát jen za masívní přírubu či jemně zboku za plechový „tubus“ těsně u ní a nebouchat s ním o stůl, aby to tak i zůstalo. (Jistě by bylo hezké mít okulárový konec hlavního dalekohledu i spektroskopický nástavec robustní a „blbovzdorný“ – však ať to někdo udělá, už se těším.) A konečně, rozptylka musí být správně pootočená, aby jedna její ohnisková čára šla kolmo na spektrum a druhá podél něj. To se snadno zkontroluje pohledem na hvězdu: v jednom (já volím vnějším) ohnisku musí být hvězda přesně čárová (až na barevnou vadu soustavy, tj. modrý konec není čárový současně s červeným), a ve druhém pak ostré spektrální čáry (tj. monochromatické obrazy ohniskové přímky kolmé na spektrum). Tak to nyní také je.

Naše dnešní sestava už funguje opravdu pěkně. Výrazně zlepšit by se dala užitím hranolu s větší disperzí – tj. především s lámavým úhlem ne 45° , ale 60° , tj. rovnostranného jako užíváme ve spektrografu u heliostatu. Pak by jednak byla spektra delší a viditelnost čar by nezáležela tolik na zaostření

hlavního dalekohledu, a jednak by se mnohem pohodlněji dívalo na hvězdy vysoko na nebi (prohlížecký dalekohled by byl skoro kolmo na hlavní). Také by se hodil hranol větší, neb současný omezuje zorné pole (a vinětuje je). Hodilo by se i potlačit barevnou vadu (jak toho konkrétně docílit, teď nevím). Skvělá by byla možnost změny tloušťky spektra, tedy astigmatičnosti hlavního dalekohledu – možná by to šlo docílit nakláněním okulárové rozptylky.

3 Co je ve spektroskopu vidět

U A0 hvězd je dobře zřetelná je $H\beta$, hůře $H\gamma$ a stěží $H\alpha$ (snad jen u Vegy). Čím dále od A0, tím jsou vodíkové čáry hůře patrné. Další dobře zřetelné rysy se objevují u pozdních K hvězd (Aldebaran, K5) – to jsou už asi molekulární pásy. Macaté pásy jsou u M hvězd, u těch nejchladnějších vypadá spektrum „jako schody“ (Ras Algheti). Výběr jasných M hvězd aj. viz Stars/BSC/selected. Co které pásy jsou, bychom měli zajisté vědět – kdo to pro různé hvězdy vhodné k ukázání namaluje (či vyfotí) a popíše, zaslouží sladkou odměnu. Zatím můžeme ukazováním spekter především doložit, že hvězdy jsou svými spektry věru rozdílné. Vidět je i to, že mají i různě rozdělenou energii na prostředek a kraje spektra – vhodný je pohled na širokou (aby se spektra nepřekrývala) dvojhvězdu s různými složkami podobně jasnými. Zajímavé je mizení barev u slabých hvězd – lze to demonstrovat i zakrýváním objektivu u hvězdy jasné (i když to není žádná astronomie). Hezká je scintilace velmi nízké jasné hvězdy.

(Kdybychom měli velký hranol, hodilo by se užít k prohlížení též např. monaru 10×50, se stupnicí a možností přeastřování, a s velkým celkovým zorným polem. To až někdy příště, až takový hranol budu mít.)