



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ  
FAKULTA**  
Univerzita Karlova

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Jáchym Baláž

**Vývoj astronomické fotometrie**

Astronomický ústav Univerzity Karlovy

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Martin Šolc, CSc.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Obecná fyzika

Praha 2022

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů. Tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze

dne 11. 5. 2022



Podpis autora

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval doc. RNDr. Martinu Šolcovi, CSc., za pomoc při vedení bakalářské práce. Mé díky patří také Johnu Hearnshawovi, Ph.D., DSc., který je autorem knihy *The Measurement of Starlight*, která se stala klíčovým zdrojem informací pro mou práci.

Název práce: Vývoj astronomické fotometrie

Autor: Jáchym Baláž

ústav: Astronomický ústav Univerzity Karlovy

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Martin Šolc, CSc., Astronomický ústav Univerzity Karlovy

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá historickým vývojem fotometrie v astronomii. Práce začíná u antických astronomů, sleduje zdokonalování hvězdných katalogů před a po objevu dalekohledu. Dokumentuje vynálezy optických fotometrů, fotografie a fotoelektrických článků a jejich vliv na fotometrii. V návaznosti na technologický pokrok sleduje změny v astronomické fotometrii, od definice magnitudy po zavedení barevných indexů. Historický přehled končí současností — s použitím CCD čipů a klíčovými vesmírnými misemi moderní doby. O něco detailněji popisuje historii fotometrie proměnných hvězd. Práce v závěru obsahuje stručný přehled hvězdáren v České republice, respektive jejich přístrojů, zabývajících se v rámci své odborné činnosti fotometrií.

Klíčová slova: hvězdné velikosti, hvězdné katalogy, Pogsonova rovnice, hvězdné fotometry, fotografická fotometrie, fotoelektrická fotometrie, blinkkomparátor, satelit HIPPARCOS, historie astronomie

Title: The evolution of astronomical photometry

Author: Jáchym Baláž

institute: Astronomical Institute of Charles University

Supervisor: doc. RNDr. Martin Šolc, CSc., Astronomical Institute of Charles University

Abstract: This bachelor's thesis focuses on the evolution of photometry in astronomy. It begins with the first astronomers of the classical era, follows the improvement of star atlases, before and after the discovery of the telescope. The thesis documents the discovery of optical photometers, photography and photoelectric cells and the influence of these on photometry. Throughout the advancement in technology, the thesis follows the changes in astronomical photometry, from the definition of the magnitude to the introduction of colour indices. The historical excursion ends in the present time — with the use of CCD sensors and key space missions of the modern era. The thesis also focuses on the history of variable star photometry. It also lists the observatories in Czech Republic, or more precisely their instruments, with photometric research.

Keywords: stellar magnitudes, star catalogues, Pogson equation, stellar photometers, photographic photometry, photoelectric photometry, blinkkomparator, satellite HIPPARCOS, history of astronomy

# Obsah

Úvod	4
<b>1 Starověká fotometrie</b>	<b>5</b>
1.1 Antická zobrazení oblohy . . . . .	5
1.1.1 Mezopotámie . . . . .	5
1.1.2 Hvězdná mapa z chrámu v Denderě . . . . .	5
1.2 Hipparchos . . . . .	6
1.2.1 Eudoxos a Aratos . . . . .	6
1.2.2 Magnitudy dle Hipparcha . . . . .	7
1.2.3 Atlas z vily Farnese . . . . .	7
1.3 Ptolemaios . . . . .	8
1.3.1 Souřadnice . . . . .	9
1.3.2 Magnitudy . . . . .	10
<b>2 Arabská fotometrie</b>	<b>11</b>
2.1 Historie astronomie v muslimských zemích středověku . . . . .	11
2.2 Forma arabské astronomie . . . . .	12
2.3 Překlad <i>Almagestu</i> . . . . .	13
2.4 Abd al-Rahmán Al-Súfí . . . . .	14
2.4.1 Krátký životopis . . . . .	14
2.4.2 Jeho dílo . . . . .	15
2.5 Ulugh Beg . . . . .	15
<b>3 Evropské mapy a atlasy</b>	<b>18</b>
3.1 První tištěné hvězdné mapy . . . . .	18
3.1.1 Atlas Albrechta Dürera . . . . .	18
3.1.2 Mapy Johannese Hontera . . . . .	18
3.1.3 <i>Astronomicum Caesareum</i> . . . . .	19
3.2 První atlasy . . . . .	19
3.2.1 <i>De le Stelle Fisse</i> . . . . .	19
3.2.2 Další atlasy 16. století . . . . .	21
3.2.3 Tycho Brahe . . . . .	22
3.2.4 <i>Uranometria</i> . . . . .	22
3.3 Podrobnější mapování oblohy . . . . .	24
3.3.1 Heveliova <i>Uranographia</i> . . . . .	24
3.3.2 <i>Atlas Coelestis</i> . . . . .	24
3.3.3 Nicolas Louis de La Caille . . . . .	26
3.3.4 Bodeho <i>Uranographia</i> . . . . .	27
3.4 Velká Medvědice . . . . .	27
<b>4 Matematická přesnost</b>	<b>29</b>
4.1 William a John Herschelovi . . . . .	29
4.1.1 William Herschel . . . . .	29
4.1.2 John Herschel . . . . .	31
4.2 Norman Pogson . . . . .	31

4.3	F. W. A. Argelander . . . . .	32
4.3.1	<i>Uranometria Nova</i> . . . . .	33
4.3.2	<i>Bonner Durchmusterung</i> . . . . .	34
4.3.3	Další dílo . . . . .	34
<b>5</b>	<b>První fotometry</b>	<b>35</b>
5.1	Klínový fotometr . . . . .	35
5.2	Steinheilův fotometr . . . . .	35
5.3	Zöllnerův fotometr . . . . .	36
5.4	Pickeringův fotometr . . . . .	37
5.5	Fotometrické katalogy . . . . .	38
5.5.1	Harvardská fotometrie . . . . .	38
5.5.2	<i>Potsdamer Durchmusterung</i> . . . . .	38
5.5.3	Revidovaná harvardská fotometrie . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Fotografická fotometrie</b>	<b>40</b>
6.1	Edward Pickering . . . . .	41
6.1.1	Pickeringova fotografická fotometrie . . . . .	42
6.2	<i>Cape Photographic Durchmusterung</i> . . . . .	43
6.3	<i>Carte du Ciel</i> . . . . .	44
6.4	Severní polární sekvence . . . . .	46
6.4.1	Frederick Seares . . . . .	47
<b>7</b>	<b>Fotoelektrická fotometrie</b>	<b>49</b>
7.1	Počátky – fotovoltické články . . . . .	49
7.2	Fotokonduktivní články . . . . .	49
7.2.1	Algol . . . . .	51
7.2.2	Další měření . . . . .	51
7.3	Fotoelektrické články . . . . .	52
7.3.1	První fotonky . . . . .	52
7.3.2	Paul Guthnick . . . . .	52
7.3.3	Hans Rosenberg . . . . .	53
7.3.4	Joel Stebbins podruhé . . . . .	53
7.4	Pád Severní polární sekvence . . . . .	54
<b>8</b>	<b>Fotometrické systémy</b>	<b>55</b>
8.1	Beckerův RGU systém . . . . .	55
8.2	Fotonásobiče . . . . .	56
8.3	(P, V) a UBV systémy . . . . .	58
8.3.1	(P, V) systém . . . . .	58
8.3.2	UBV systém . . . . .	58
8.4	Fotoelektrické sekvence . . . . .	59
8.5	<i>uvby</i> systém . . . . .	59
8.6	UBVRI systém . . . . .	60
<b>9</b>	<b>Fotometrie proměnných hvězd</b>	<b>61</b>
9.1	Tychonova a Keplerova hvězda . . . . .	61
9.2	První proměnné hvězdy . . . . .	61
9.2.1	John Goodricke a Edward Pigott . . . . .	62

9.3	Čínská pozorování . . . . .	62
9.4	Systematické pozorování . . . . .	63
9.5	Fotografické pozorování proměnných hvězd . . . . .	64
9.5.1	Spektroskopie . . . . .	64
9.5.2	Klasifikace . . . . .	64
9.5.3	Stereo-komparátory a blink-komparátory . . . . .	64
9.5.4	<i>Atlas Stellarum Variabilium</i> . . . . .	65
9.6	Fotoelektrická fotometrie proměnných hvězd . . . . .	66
<b>10</b>	<b>Použití CCD</b>	<b>67</b>
10.1	Vývoj prvních čipů . . . . .	67
10.1.1	První digitální fotoaparát . . . . .	67
10.1.2	První využití v astronomii . . . . .	68
10.2	Technická vylepšení . . . . .	68
10.3	Současnost . . . . .	69
<b>11</b>	<b>Oblasti fotometrie</b>	<b>70</b>
11.1	Radiometrie . . . . .	70
11.1.1	Milníky radiometrie . . . . .	70
11.2	Absolutní fotometrie . . . . .	70
11.3	Relativní fotometrie . . . . .	71
11.4	Kalibrace fotometrů . . . . .	71
<b>12</b>	<b>Moderní projekty</b>	<b>72</b>
12.1	Družice HIPPARCOS . . . . .	72
12.1.1	Katalog Hipparcos . . . . .	72
12.1.2	Katalog Tycho . . . . .	73
12.2	Projekt Gaia . . . . .	74
<b>13</b>	<b>Fotometrické přístroje v České republice</b>	<b>76</b>
13.0.1	Mayerův dalekohled, Ondřejov . . . . .	76
13.0.2	Observatoř na Kraví hoře . . . . .	76
13.0.3	Hvězdárna Jaroslava Trnky ve Slaném . . . . .	77
13.0.4	Štefánikova hvězdárna, Praha . . . . .	77
13.0.5	Hvězdárna a planetárium Hradec Králové . . . . .	77
13.0.6	Prostějovská hvězdárna . . . . .	77
13.0.7	Hradec Králové – SKYMASTER . . . . .	77
13.0.8	Hvězdárna Valašské meziříčí . . . . .	77
13.0.9	Veltěže u Loun . . . . .	78
13.0.10	Hvězdárna a planetárium Johanna Palisy . . . . .	78
13.0.11	Hvězdárna Vsetín . . . . .	78
13.0.12	BS Observatory . . . . .	78
	<b>Závěr</b>	<b>79</b>
	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>81</b>
	<b>Seznam použitých obrázků</b>	<b>87</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>90</b>

# Úvod

Lidské oko bylo po dlouhá staletí jediným nástrojem, který jsme používali k pozorování noční oblohy. Orientaci na ní pak obstarávala kombinace znalosti polohy a jasnosti jednotlivých hvězd — jasnější z nich šlo vidět dříve a i za jasné bezměsíčné noci byly výraznější.

Tato orientace, či kartografie, dala za vznik dvěma vědním disciplínám, těsně propojeným v mapování nám známého vesmíru — totiž astrometrii a fotometrii. A tak, byť se tato práce bude zabývat vývojem fotometrie, často tento vývoj půjde ruku v ruce s vývojem astrometrie. Ostatně první a dlouhodobou motivací pro obě disciplíny je mapování oblohy.

Mapováním tak práce začíná i končí — od prvních záznamů o hvězdách a prvních katalogů ve starověku, přes vývoj v objemu pozorování a postupná zlepšení v pozorovacích metodách až po ohromné katalogy misí Hipparcos a Gaia.

Fotometrie se zabývá „jen“ jasností hvězd. Je to však právě světlo, ze kterého máme většinu dat o objektech natolik vzdálených, že nemáme šanci je zblízka prozkoumat. Z vícebarevné fotometrie lze přibližně určit spektrum hvězdy, z něj její stáří či složení; z jasnosti lze taktéž odhadnout hmotnost či vzdálenost takové hvězdy. Navíc fotometrie slouží jako klíčový zdroj informací o proměnných hvězdách, dvou- a vícenásobných hvězdných systémech, umožňuje nalézat exoplanety.

Většina z těchto využití je záležitostí posledního století až dvou. Kombinace lepší přesnosti, lepších dalekohledů (či jejich samotná existence) a znalostí astrofyziky nám umožnila světlo hvězd využít k jejich poznání.

Ne vždy tomu tak ale bylo. Jeden z největších inovátorů a pozorovatelů v oblasti fotometrie, Edward Pickering, sám říkal, že jeho úkolem je získat fotometrická data v co největším rozsahu, ale jejich vyhodnocení nechá na ty, kteří přijdou po něm.

Historie fotometrie je po mnohá staletí synonymem pro historii astronomie. Jak se vyvíjela astronomická pozorování, vyvíjela se i pozorování fotometrická. Sledování Slunce, Měsíce, planet a hvězd tvořilo hlavní náplň práce astronoma po dlouhá staletí. Pozorování okem přešlo v pozorování dalekohledem. Jak kvalita optiky rostla, začaly být objevovány nové objekty na obloze, které mohly astronomy zajímat. Jejich detailní zkoumání přišlo však až s rozvojem astrofyziky — a zároveň s tím i lepší vhléd do problematiky spekter hvězd, kterýmžto směrem mířila také fotometrie.

I pro dnešní astronomii jsou pozorovací data stále důležitá. Jejich klíčovou součástí je právě fotometrie. Na dalších stránkách pohlédneme na vývoj jedné z nejstarších vědních disciplín, od jejich samotných počátků, kdy představovala — ovšem ještě bez svého názvu — podstatnou část astronomického bádání, až k naší nejbližší minulosti, kdy fotometrie představuje úzce zaměřené odvětví. I dnes se fotometrie vyvíjí, jako se vyvíjejí naše technologické možnosti. Práce proto bude zakončena krátkým exkurzem do českých hvězdáren, jejichž dalekohledy i dnes mohou posloužit, či slouží k fotometrickým měřením.



# 1. Starověká fotometrie

## 1.1 Antická zobrazení oblohy

Z období starověku se nám zachovaly záznamy o astronomických pozorováních od několika různých národů. Nejvýznamější, alespoň dle dnešního pohledu, byla řecká astronomie (popřípadě astrologie, obě disciplíny bývaly velmi provázané).

Ovšem i od jiných civilizací se nám dochovaly nějaké artefakty či spisy. Ze starého Egypta se dochovala mimo jiné mapa hvězdné oblohy na stropě chrámu v Denderě. Z oblasti Mezopotámie pak různé staré hliněné tabulky s jejich záznamy. Tyto podstatně starší civilizace — Sumer a Babylón — nám zanechaly svá dědictví mimo jiné skrze jejich následovníky. Astronomové již zmíněných civilizací přejímali nejen objevy svých předchůdců, ale i jména hvězd a souhvězdí. Samozřejmě ne všech, a mnohá byla přidána, jak se noční obloha postupně plnila.

### 1.1.1 Mezopotámie

Kolem roku 750 př. n. l. začali Babylóňané zapisovat přesná měření, mimo jiné pohybu planet. Od roku 650 př. n. l. už se některé zápisky zachovaly, s podstatně větším množstvím od roku 384 př. n. l. Měření byla zapisována ve stupních a minutách od začátků dvanácti znamení zvěrokruhu, popřípadě od souboru vybraných 31 hvězd podél ekliptiky [1].

Po dobytí Babylónu roku 331 př. n. l. Alexandrem Velikým se tyto zápisky staly majetkem jeho následovníků. On sám se kvůli své předčasné smrti roku 323 př. n. l., dokonce v tomto městě, nikdy nedostal ke zvelebování své obří říše, a tak rozvoj vědy či kultury zůstal na jeho nástupcích, ať už to byli Ptolemaiovcí v Egyptě či Seleukovci ovládající to, co zbylo z mezopotámských říší.

V obou takzvaných následnických státech se astronomie nadále rozvíjela. Také nám od nich zůstala zobrazení zvěrokruhu, respektive oblohy [1].

Stejným způsobem se babylónské texty dostaly do helénského Řecka, taktéž ovládané potomky jednoho z Alexandrových následníků.

### 1.1.2 Hvězdná mapa z chrámu v Denderě

Město Dendera, nebo dříve také Tentyra, Tentyris, stálo blízko Nilských kataraktů. Bylo zmiňováno Pliniem, Strabonem, Senecou i mnoha dalšími antickými autory. V roce 1799 dorazila k Denderě francouzská armáda pod vedením generála Desaix. Ten v ruinách města objevil kulatý Zvířetník, respektive hvězdnou mapu.

Místo pokusu o přesun do Francie, jako se to stalo mnoha dalším památkám v Egyptě, vytvořil M. J. J. Castex model, který následně převedl do mramoru v roce 1819. Jeho dílo však jako by bylo zbytečné. Protože to, čeho byla mapa ušetřena v roce 1799 se stejně událo roku 1820 v režii Saulniera a Lelorraina. Mapu extrahovali a následně prodali Ludvíku XVIII.. Nakonec skončila v Louvru (viz Obr.1.1). Tím byla zastavena dohoda s Castexem o prodeji jeho modelu [2].

Nejedná se o jediné dílo starých Egyptanů s astronomickou tematikou. Nejstarší známý hvězdný strop se nachází v hrobce Senmuta, ministra Hatšepsut (cca

1470 př. n. l.). Nejčastěji byla zobrazována souhvězdí, planety a takzvané *dekany*, což jsou diagramy hvězd určené k dopočtení času během noci. Mapa v Denderě je pozdějšího data (první století př. n. l.) a obsahuje tak už i tradice řeckého, respektive babylónského, původu. Kombinuje egyptská souhvězdí, dekany a dvanáct znamení zvěrokruhu [3].



Obrázek 1.1: Hvězdná mapa z Dendery v Louvru [Obr. 1]

## 1.2 Hipparchos

Jedním z prvních dobře zaznamenaných astronomů byl Řek Hipparchos, žijící okolo 190 – 120 př. n. l. [4]. Jeho dílo se však z většiny nedochovalo. Vyjma *Komentáře k Eudoxovi a Aratovi* o tomto astronomovi víme jen z pozdějších zdrojů. Mezi ně mimo jiné patří Ptolemaiov *Almagest*. Kromě toho Plinius Starší zmiňuje Hipparchův katalog [5], ten se ovšem nedochoval.

### 1.2.1 Eudoxos a Aratos

Roku 408 př. n. l. se ve městě Knidos v Malé Asii narodil Eudoxos, astronom a matematik. Nějakou dobu strávil v Egyptě, kde se učil astronomii od kněží v Heliopoli. Po dalších cestách po středomoří, kde mimo jiné navštívil Platónovu *Akademii*, se vrátil do rodného Knidu, kde se stal úředníkem, ale i nadále se věnoval vědecké práci - teologii, astronomii a meteorologii. Postavil u Knidu observatoř a jeho pozorování, společně s těmi, která provedl na hvězdárně u Heliopole, se stala základem k jeho dílu *Zrcadlo* [6].

Jeho další práce se zabývala matematikou či teorií pohybu planet. Část z jeho díla se dochovala v dílech Euklida a Aristotela, ale jeho vlastní knihy se naneštěstí nedochovaly [6].

O století později interpretoval Eudoxovo *Zrcadlo* básník Aratos (cca 315 – 245 př. n. l. [7]). Na rozdíl od tehdejších vědeckých prací jsou jeho *Phaenomena* napsaná ve verši. Takováto díla však byla běžně psána prózou. Verš však byl stále považován za vyšší formu textu, a měl tak automaticky větší váhu [8].

K těmto dvěma dílům se vyjádřil i Hipparchos ve svém jediném dochovaném díle *Komentář k Eudoxovi a Aratovi* [4]. Jedná se o souvislý text v próze, diskutující objevy obou již zmíněných autorů, společně s dalším komentátorem Arata, Attalem z Rhódu. Po diskuzi jejich chyb v první knize se však ve zbylých dvou zaobírá vlastními pozorováními [8].

### 1.2.2 Magnitudy dle Hipparcha

Hipparchův katalog, dokončený kolem roku 129 př. n. l., je považován za první katalog hvězd. Kromě pozic asi 850 hvězd však obsahoval i jejich jasnosti [4]. Ty byly rozděleny do šesti kategorií, od nejjasnější po slabé hvězdy na hraně viditelnosti pouhým okem [9]. Toto dělení pak o tři století později pojmenoval Ptolemaios jako takzvané *magnitudy* [4].

### 1.2.3 Atlas z vily Farnese

Začátkem šestnáctého století se do sbírky vily Farnese v Itálii dostala socha Atlanta, držícího nebeskou klenbu (viz Obr.1.2). Na glóbu, který titán podpírá, autor vyobrazil 41 souhvězdí z tradice starověkého Řecka. Sféra má 65 cm v průměru. Její vršek je naneštěstí poškozen, kvůli čemuž chybí dvojice souhvězdí *Ursa Major* a *Ursa Minor*. Vyobrazeny jsou pouze figury, jednotlivé hvězdy chybí. Zato jsou však přítomné některé významné kruhy: nebeský rovník, obratníky, kolury (klíčové meridiány procházející rovníkostími, respektive slunovraty), arktický a antarktický kruh (hranice obtočnových oblastí). Z deklinace arktického/antarktického kruhu lze určit zeměpisnou šířku pozorovatele, podle kterého byl glóbus vytvořen. Stejně tak jsou pozice rovníkostí a slunovratů závislé na precesi zemské osy, z čehož lze určit dobu, kdy byla použita měření provedena. Dle historiků umění je tento Atlas římskou kopií řeckého originálu, který lze datovat do druhého století před naším letopočtem [10].

Odhad stáří byl a nadále je centrem debat. Dle předpokládaného římského sochaře lze odhadovat nejmladší variantu na dobu okolo 150 n. l., zatímco na druhém konci časové škály lze skončit někde v době před Eudoxem, který se, jak zmíněno dříve, narodil roku 408 př. n. l.

Bradley Shaefer ve svém článku z roku 2005 [10] zmiňuje řadu starších pokusů o dataci a shledává jejich závěry nedostatečně podloženými. Dle porovnání se souřadnicemi v známých antických katalozích dochází k závěru, že se nebeská sféra z Farnese shoduje se ztraceným katalogem Hipparchovým.

Na to reaguje v roce 2006 článkem Dennis Duke [11], který využívá stejného postupu k vyvrácení Schaeferova závěru a navrhuje, že se buď jedná o jiný, dosud neuvažovaný zdroj, nebo se jedná o autorův pokus o započítání precese.

Samozřejmě se může jednat o kombinaci více ze známých antických zdrojů, ale jedna věc je zřejmá. Atlas z vily Farnese tedy představuje výborně zachovalé a jedinečné vyobrazení oblohy dle antických zdrojů, nejspíše z antického Řecka.



Obrázek 1.2: Atlas z vily Farnese [Obr. 2]

### 1.3 Ptolemaios

Největším dílem astronomie starověku se stala kniha *Mathématiké syntaxis*, neboli Matematická stavba či soustava. Dnes je však známější pod zkomoleninou arabského jména pro toto dílo, to jest *Almagest*. Jeho autorem byl roku 150 n. l. Ptolemaios, žijící v Alexandrii [12].

Toto dílo, skládající se ze třinácti knih [13], se stalo na dlouhá staletí vrcholem astronomického vědění. Samo však čerpalo i z poznatků získaných Ptolemaiovými předchůdci. Jednou z jejích částí, v knihách VII a VIII [14], byl hvězdný katalog, o kterém jeho autor tvrdil, že je primárně z jeho vlastních pozorování. Je však vysoce pravděpodobné, že z velké části čerpal z díla Hipparchova [5] [13] [15].

Ptolemaiov katalog obsahoval 1022 až 1028 hvězd, záleží na zdroji, rozdělených do souhvězdí. Z nich dvanáct bylo zvířetníkových, dvacet jedna na severní obloze a patnáct na té jižní. Celkem tedy čtyřicet osm. Zobrazil je jakoby na vnitřní straně glóbu, na který se pozorovatel dívá z jeho středu. Pro každou hvězdu zaznamenal ekliptikální šířku a délku, čímž eliminoval nutnost dopočtení precese zemské osy. Někteřým hvězdám změnil popis jejich polohy, aby lépe seděl s představou o podobě souhvězdí.

Součástí *Almagestu* byl i návod pro výrobu nebeské sféry, respektive glóbu. Obrazy souhvězdí na něm měly být vyznačeny jen schematicky, aby neskrývaly pozice jednotlivých hvězd. Tím se podstatně lišil Ptolemaiov přístup od přístupu jeho předchůdců. Pro dřívější astronomy bylo souhvězdí hlavním indikátorem pozice hvězdy, a tak například Atlas z vily Farnese nese nebeskou klenbu, na které jednoznačně převládají figury, nikoli hvězdy. V případě Ptolemaia už se poloha hvězdy dala určit dle jejich souřadnic, což bylo v podstatě jistější a přesnější, než dřívější postup [13].

Longitudo et Latitudo ac Magnitudo stellarum fixarum			
Some et Stelle	Longitudo g m s	Latitudo g m s	Magnitudo m s
Que est in medio reclinatorij sedis	0 7 50	S 51 40	3
Que est in extremitate reclinatorij	0 7 50	S 51 40	6
Hæc s̄ tredecim stellæ in magnitudine tertia sunt quatuor. in quarta sex. in quinta vna. in sexta due			
(Stellano Celestibus: cuius nomē in Latino ē p̄sens: z ē deferēs caput Algol. Imago Undecima			
Stella q̄ ē in resolutione nebulosa: q̄ ē sup extremitatē man <sup>9</sup> dextre	0 27 40	S 40 35	nebulosa
Que est super marie dextrum	1 1 10	S 37 30	4
Que est super spatulam dextram	1 2 40	S 34 30	4. e.l.
Que est super spatulam sinistram	0 27 30	S 32 20	4. e.l.
Que est super caput	1 0 40	S 34 30	4
Que est inter duas spatulas	1 1 30	S 31 10	4
Lucida que est in latere dextro	1 4 50	S 30 0	2
Antecedens trium que sunt post eam in hoc latere	1 5 20	S 27 30	4
Media trium	1 7 0	S 27 40	4
Sequens earum	1 7 40	S 27 30	3
Que est super marie sinistram	1 0 40	S 27 0	4
Lucida earum que sunt in capite Algol	0 29 40	S 23 0	2
Sequens earum	0 29 10	S 21 0	4
Antecedens lucidam	0 27 40	S 21 0	4
Antecedens hanc etiam: z est secunda	0 26 50	S 22 15	4
Que est in genu dextro	1 14 50	S 28 15	4
Antecedens hanc: z est supra genu	1 13 50	S 28 10	4
Antecedens duarum que sunt in ventre core	1 12 20	S 25 10	4
Stella postrema earum in vnitute ventris core	1 14 0	S 26 35	4
Que est super musculum cruris dextri	1 14 10	S 24 30	5
Que est super calcaneum dextrum	1 16 20	S 28 45	5

Obrázek 1.3: Úryvek z prvního tištěného *Almagestu* z roku 1515, hvězdy v Kassiopeie a Perseovi [Obr. 3]

### 1.3.1 Souřadnice

Jak již bylo řečeno, katalog v *Almagestu* využívá ekliptikální souřadnice. Je však vysoce pravděpodobné, že původní soubor měření byl proveden v ekvatoriálních souřadnicích. To by odpovídalo i podezření, že Ptolemaios převzal Hipparchova data. Jeho *Komentář k Eudoxovi a Aratovi* je sepsán v ekvatoriálních souřadnicích, tedy v rektascenzi a deklinaci. Ptolemaios tyto hodnoty přepočtl do ekliptikálních souřadnic, vhodnějších k pozorování Slunce, Měsíce či planet, které se podél ekliptiky pohybují. Navíc provedl opravu o 2°40', což odpovídá precesi, kterou už dříve objevil Hipparchos [16].

### 1.3.2 Magnitudy

Kromě poloh hvězd zmiňoval Ptolemaios i jejich jasnosti. V tomto stavěl na systému, který před ním použil Hipparchos. Jasnost hvězdy popsal takzvanou magnitudou, od první do šesté, od nejjasnější po sotva viditelné. Jeho odhad jasností byl možná spjat s večerním pozorováním nově se objevujících hvězd, od těch prvních viditelných, tedy první magnitudy, po šestou magnitudu, kteréžto stálice jsou viditelné je za naprosté tmy [4]. Navíc však přidal jemnější dělení. Každou magnitudu obklopil dvěma podstupni, čímž efektivně ztrojnásobil jemu dostupnou stupnici. Tyto rozdíly od celočíselné hodnoty značil slovy *meizona élásson*, jako jasnější a slabší hvězdy než ty průměrných hodnot magnitudy [9].

Ptolemaiov *Almagest*, včetně jeho katalogu i jeho systému magnitud, byl skoro beze změn všeobecně používán až do doby sira Williama Herschela [9].

I z toho důvodu existuje dnes mnoho zobrazení dle *Almagestu*, z různých dob a v různých provedeních, ať už se jedná o podobu či médium. Na obrázku 1.3 je zobrazena, jako jeden příklad za všechny, část hvězdného katalogu *Almagestu* z Benátek z roku 1515.

## 2. Arabská fotometrie

Řecká astronomie se po Ptolemaiovi neztratila. Rozpadem Římské říše v následujících stoletích však došlo k tomu, že antickou vzdělanost nikdo v Evropě dále nerozvíjel. Panovníci nově vznikajících států měli dost státnických problémů, než aby sponzorovali vědeckou činnost. A pozdější centra vzdělanosti, totiž kláštery, se teprve ustavovaly a jejich pozornost byla obrácena k teologii. Byť se v Evropě zachovaly znalosti astronomie ve formě *Almagestu*, jednalo se jen o jednu knihu, tedy jejich soubor, jehož studiu, natož elaboraci na ono téma, nebyla věnována zvláštní pozornost.

To však neznamená, že by věda nepokračovala dál. V sedmém století našeho letopočtu vzniklo v oblasti Arabského poloostrova nové náboženství – Islám. Jeho první představitelé byli nejen teology, dokonce proroky, ale i schopnými panovníky a vojevůdci. Do té doby roztržité arabské kmeny se sjednotily pod praporem Islámu a jejich vojska se vydala dobývat. Už za ani ne sto let, roku 711 n. l., stál muslimský vojevůdce Tárik ibn Zijád na Pyrenejském poloostrově, na místě po něm pojmenovaném Tárikova skála - *Džebel el Tárik*, dnešní Gibraltar [17].

Jedny z prvních oblastí, které obsadili, byla Mezopotámie a Egypt, dříve kontrolované Seleukovci a Ptolemaiovci, jejichž dynastie byly helénské kultury. Muslimským učencům se tak do rukou dostalo antické vědění. Byli to tudíž arabsky píšící autoři, kdo dále rozvíjel Ptolemaiovův *Almagest*.

Jak poznamenává Ihsan Hafez [14], používají se dvě označení: arabská či islámská astronomie. Každý z termínů však vylučuje určitou část astronomů: ne všichni byli Arabové, ne všichni byli muslimského vyznání. Všichni však žili v islámských říších, či v oblastech jejich kulturního vlivu. Většinou tak psali arabsky, ať už to byli Peršané, Arabové, Egypťané či kdokoli jiný. Ten nejznámější z nich, kterému se budeme dále věnovat, Abd al-Rahmán al-Súfí, byl perský muslim, píšící v arabštině.

### 2.1 Historie astronomie v muslimských zemích středověku

Jak již bylo zmíněno dříve, astronomie a astrologie byly dříve notně provázané. Bylo tomu tak i v řeckých traktátech. A v případě prvních muslimských učenců to vedlo k vyhýbání se studiu hvězd, protože by tak mohli mít něco společného s věštěním či modlářstvím, což jim jejich náboženství zakazovalo. Až teprve když se obě disciplíny od sebe oddělily, vrhli se islámští vědci na astronomii.

Druhý chalífa Abbásidské dynastie, Abú J'afar al-Mansúr, byl velkým mecenášem vědy a jeho dvůr byl plný astronomů i jiných učenců. A také byl prvním, kdo nařídil překlad řeckých a indických traktátů o astronomii i astrologii do arabštiny.

Roku 786 se stal novým chalífou v Bagdádu Hárún al-Rašíd. V té době se již učenci stali běžnou součástí dvorů abbásidských panovníků. Stejně tak i Al-Rašíd zhusta vědce financoval. Založil *Dar al-Hikmah*, neboli Dům moudrosti. Jednalo se o první „univerzitu“, či „vědecký ústav“ na světě. Jeho knihovny obsahovaly mimo jiné množství knih, přeložených z řečtiny, perštiny a hindštiny do arabštiny.

Jednou z nich byl i Ptolemaiov *Almagest*. Ten byl Araby považován za jednu z nejlepších knih o astronomii a stal se základem pro většinu jejich bádání [14].

Abbásidská dynastie skončila neslavně. Poslední chalífové byly jen loutky na trůně, sloužící zájmům jiných, sultánům v různých částech kdysi mocné říše. Ránu z milosti zasadila mongolská vojska, která se po dobytí Číny otočila směrem na západ. Jeden proud dorazil přes Rusko do Evropy, druhý zamířil jižní cestou do Persie a dále do Egypta. Tato armáda, pod velením Hülegüho, vnuka Čingischána, dobyla Bagdád a srovnala jej se zemí. Zkáze neunikly ani knihovny ani školy a zmizela tak jedna z největších kolekcí knih v dějinách.

Část těchto děl se však jako zázrakem zachovala. Muž jménem Násir al-Dín al Túsí byl blízkým přítelem Hülegüho a zachránil několik z Bagdádských knih. Podařilo se mu také mongolského panovníka, který byl vášnivým vyznavačem astrologie, přesvědčit, aby vystavěl observatoř v městě Maragha, která se stala centrem astronomického bádání ve třináctém století [14].

Roku 1336 [18] se ve stepích střední Asie narodil Timur, zvaný Chromý, neboli Timur Lenk. Tento muž se stal jedním z největších dobyvatelů své doby a také jedním z největších masových vrahů historie. Přesto však některé svých masakrů ušetřil: učenci, umělci a mistři řemeslníci byli převáženi do Samarkandu, jeho vybraného hlavního města.

Byl to však až jeho vnuk, Mohammed Taragae, spíše známý jako Ulugh Beg, kdo začal město zvelebovat a spolu s ním i umění a vědu. Toto jméno se zde ještě jednou objeví.

Muslimy ovládaný Pyrenejský poloostrov se v patnáctém století stal cílem pro rekonkvistu. Ve stoletích před tím však byl cílem vědců, umělců i filosofů, kteří směřovali do Cordoby a Toleda. A to jak z arabských zemí, tak z křesťanské Evropy.

Jedno z prvních výrazných jmen v této oblasti bylo v desátém století Maslamah al-Majrití. Tento astronom navazoval na dílo Ptolemaiovo a také rozšířil astronomické tabulky al-Chorézmího, astronoma působícího v *Dar al-Hikmah* v osmém století. Dalším matematikem a astronomem byl v jedenáctém století al-Zarqálí, známý v Evropě pod do latiny upraveným jménem Arzachel. Byl konstruktérem měřicích přístrojů určených k pozorování oblohy a napomohl sestavení Toledských tabulek, souboru tehdy přesných dat určených k předpovídání pohybu Slunce, Měsíce a planet. Třetím vědcem byl al-Bitrují, který byl v Evropě znám jako Alpetragius. Pokoušel se vytvořit nový model pohybu planet, ovšem neúspěšně. Díla těchto astronomů byla velmi vlivná a velká část z nich přeložena do latiny. Mnoho hvězd na obloze si zachovalo jména, daná jim těmito muži. Stejně tak slova jako zenit, nadir či azimut jsou arabského původu a dostala se do vědeckého slovníku dneška přes jejich díla [14].

## 2.2 Forma arabské astronomie

Astronomie byla v muslimském světě notně provázána s náboženskou praxí. Islámská tradice pěti modliteb v daných denních dobách vedla ke vzniku časových harmonogramů. Ve třináctém století dokonce vznikla oficiální instituce (*al-*



*Muwaqqit*) za tímto účelem. Měření času se tak stalo jednou z jejich nejsilnějších stránek. Ruku v ruce s tím šlo zavedení islámského lunárního kalendáře.

Po období překladů řeckých textů, ze kterých většinu přejali, pokračovalo vědecké bádání ve formě takzvaných *Zidžů* (anglicky *Zij*). Původním významem slova je nejspíše perské označení vlákno či niť. V tomto případě se však jedná o označení astronomických textů, ať už se jednalo o tabulky či prózu. Dosti často se podobaly formou *Almagestu*. Typicky obsahovaly [14]:

- měření času, včetně převodů mezi kalendáři
- trigonometrické funkce
- sférickou astronomii – převody souřadnic
- časovou rovnici, tj. převod mezi pravým a středním slunečním časem
- planety - jejich pohyb, polohy etc.
- paralaktické tabulky pro určení pozice Měsíce
- tabulky zatmění Slunce a Měsíce
- viditelnost planet a Měsíce
- geografická data, mimo jiné souřadnice známých měst
- hvězdný katalog
- astrologické tabulky

Snad každý astronom stvořil nějaký *Zidž*. První takové dílo bylo *al-Zidž al-Mumtahan* z Bagdádu za vlády al-Mamúna. Dalšími významnými byly al-Battáního *al-Zidž al-Sabi*, Ibn-Yunova *al-Zidž al-Hakimí*, al-Birúního *al-Zidž al-Masúdí*, al-Tusího *al-Zidž al-Ilkhaní* a Ulugh Begova *al-Zidž al-Sultaní*. V roce 1956 E. S. Kennedy vydal seznam 125 *Zidžů*. Dnes jich je známo přes dvě stě, ovšem většina se naneštěstí nedochovala.

Hvězdné katalogy té doby pokračovaly v tradici *Almagestu* a zaznamenávaly jen oněch 1022 až 1028 hvězd, ačkoli si tehdejší astronomové byli dobře vědomi nepřehledného množství slabších stálic. Stejně tak i nadále používali systém šesti magnitud [14].

## 2.3 Překlad *Almagestu*

Ptolemaiovo dílo bylo poprvé přeloženo v období vlády chalífy al-Rašída, na popud jeho vezíra jménem Yehya ibn Barmak. Několik dalších překladů následovalo. Z nich jen poslední dva se zachovaly do dnešní doby: ten od Ishaqa ibn Hunayna z roku 880 a jeho revize v roce 901 Thabitem ibn Qurraou. V dnešní době existuje čtrnáct manuskriptů v různých knihovnách.

První překlad *Almagestu* do latiny byl z arabského překladu, nejspíše ze zmíněné poslední dvojice. Tento text Gerarda z Cremony z roku 1175 nebyl překonán ani vtištěním řeckého originálu v roce 1515 v Benátkách (viz Obr.1.3), či 1538 v Basileji.

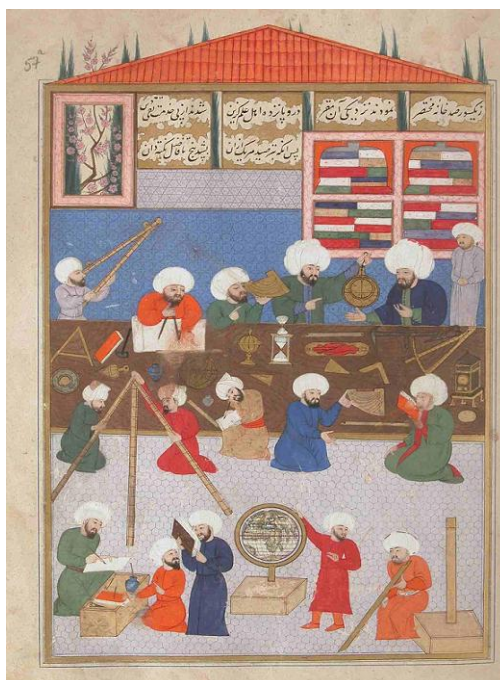
Ostatně i jméno *Almagest* je zkomoleninou arabského názvu tohoto díla, jak již bylo dříve řečeno. Celý arabský název zní *al-Kitáb al-Magestí*, neboli Velká kniha. Z druhé části tohoto názvu se stala středověká latinská forma, kterou používáme dodnes.

## 2.4 Abd al-Rahmán Al-Súfí

### 2.4.1 Krátký životopis

O životě al-Súfího toho není moc známo. Existuje několik málo záznamů z biografii napsaných po jeho smrti. Z těch se však dovídáme jen, že byl astronomem, respektive astrologem, na dvoře Aduda al-Dawly. Nejobsáhlejší záznam o tomto muži je od al-Qiftího z roku 1248: Pocházel z města Rayy v severním Íránu, které je dnes na předměstí Teheránu. Al-Súfí byl perského původu, avšak psal své texty v arabštině, v té oblasti preferovaným jazykem, podobně jako je dnes mezinárodní řečí angličtina. Dle al-Qiftího se narodil 6. prosince 903 a zemřel 25. května 986, nejpravděpodobněji v Šírázu. Také se dovídáme, že žil většinu života ve městech Rayy, Isfahan a Šíráz. V Šírázu také al-Súfí provedl většinu svých pozorování a měl zde vlastní observatoř.

Neexistuje žádné zobrazení tohoto astronoma, celkem pochopitelně, vzhledem k tomu, že Islám zakazuje zobrazení osoby v jakékoli formě. Existuje však portrét muže používajícího paralaktické měřidlo, jenž je označován za al-Súfího. Jedná se však o jednu z postav na obrazu Istanbulských astronomů z roku 1575. Jedná se o muže vlevo nahoře na Obr.2.1.



Obrázek 2.1: Obraz Istanbulských astronomů [Obr. 4]

Jméno al-Súfí naznačuje status svého nositele: tento přívlástek jej určuje jako člena muslimské teologické odnože – súfismu, popřípadě jím byl nějaký jeho pře-

dek. Tato duchovní cesta klade důraz na oddání se Bohu a vzdání se materiálních potřeb [14].

## 2.4.2 Jeho dílo

Al-Súfí byl spíše pozorovatelem, než teoretickým astronomem. Do dnešní doby přežilo jen jeho největší dílo, společně se dvěma pracemi o pozorovacích instrumentech. První z těchto dvou je o astrolábu, ta druhá o nebeském glóbu. Z historických záznamů víme i o *Zidži*, který se však nedochoval. Také sepsal několik textů o astrologii.

Jeho „velkými“ díly jsou však *Kniha stálic* a *Báseň stálic*. Tato báseň o 495 verších je rozdělena do 48 částí, jedna pro každé souhvězdí. Vzhledem ke stylu se spíše jedná o prózu než o poezii. Ačkoli al-Quiftí tvrdí, že se jedná o al-Súfího dílo, autorem je al-Súfího syn. *Báseň stálic* sice není vědecký traktát, je však často spojována s *Knihou stálic*.

Al-Súfího dílo bylo často citováno pozdějšími arabskými astronomy a dokonce se dostalo i do Evropy, kde bylo jeho jméno zkomoleno na Azophi. Druhým směrem ovlivnil i kultury ve východní Africe, dokonce až na Madagaskaru.

Za zmínku stojí *Alfonsínské tabulky*, sepsané v Toledu na popud kastilského krále Alfonse X. Byly součástí většího celku třiceti děl a navazovaly na dříve zmíněné dílo Gerarda z Cremony. V zásadě se jednalo o kompilaci z více děl, ovšem hlavním zdrojem byla al-Súfího *Kniha stálic*. Výsledné dílo bylo velmi populární v Evropě až do šestnáctého století, i když bylo ve španělštině a nikoli v latině, vědeckém jazyku Evropy té doby [14].

Na základě al-Súfího díla vznikaly i hvězdné atlasy, v Evropě bezpochyby skrze díla jako *Alfonsínské tabulky*. V roce 1515 vytvořil Albrecht Dürer první tištěný atlas oblohy, který lemovaly čtyři klíčové postavy astronomie. Jednou z nich byl i Azophi, neboli Al-Súfí. Na základě tohoto atlasu Peter Apián ve svém *Astronomicum Caesareum* z roku 1540 prezentoval své mapy, které obsahovaly množství arabských jmen hvězd, včetně několika souhvězdí. Al-Súfího pod jménem Azophi explicitně zmiňoval jako jeden ze zdrojů. Z Apiánova díla se dá usoudit, že i Dürer používal *Knihu stálic* v nějaké podobě [14].

I před těmito díly vznikaly atlasy na základě al-Súfího knihy. Jedním z nich je i atlas vyrobený okolo roku 1370, nyní uložený v knihovně Strahovského kláštera v Praze. Obsahuje 48 souhvězdí Ptolemaiovské tradice, vyobrazených v barvě na pergameni. Text je latinský, hvězdy očíslovány a jejich polohy sepsány v tabulkách. Na obrázku Obr.2.2 je jedna dvoustrana tohoto díla, konkrétně loď Argo, nyní již neexistující souhvězdí. Místo něj máme na obloze Plachty, Lodní kýl a Lodní zád.

## 2.5 Ulugh Beg

Mohammed Taragae, velký princ (*Ulugh Beg*), byl jedním z vnuků dobyvatele Timura Lenka. Narodil se roku 1374 v Sultaniye na pobřeží Kaspického moře, v dnešním Íránu. Na rozdíl od svého předka nebyl válečníkem, ale státníkem,



Obrázek 2.2: Zobrazení souhvězdí lodi Argo z al-Súfiho katalogu ze Strahovského kláštera [Obr. 5]

umělcem a astronomem. Jeho učitelem se stal Qadi Zadeh al-Rumi, astronom a matematik z Anatólie. Byl Timurem, stejně jako mnoho dalších učenců, odveden do Samarkandu, kde dokončil své studium a také vyučoval budoucího panovníka.

Ulugh Beg se stal mecenášem umění a vědy, založil tři *madrasy* – university muslimského světa, z nichž tu nejvýznaměji zbudoval v Samarkandu. Zároveň s ním založil hvězdárnu, dokončenou za pět let v roce 1429. Na základě tamních měření sepsal Ulugh Beg vlastní *Zidž*, který obsahoval 1018 hvězd a jeho přesnost byla srovnatelná s dílem Tycho Braheho o století a půl později [18].

Jeho vláda však byla krátká. Jeho vlastní syn jej v roce 1449 sesadil a popravit. Hvězdárna byla srovnána se zemí a ztracena až do roku 1908, kdy ji našla ruská archeologická expedice. Ta mimo jiné našla i obrovský meridiánový oblouk, který se stal symbolem této observatoře. Vyobrazen je na Obr.2.3. Ulugh Begovo dílo však zkázu přežilo. Astronom Ali-Qushji uprchl ze Samarkandu i s manuskriptem a dopravil jej do Istanbulu, kde jej předal do rukou sultána Mehmeda II. Ten dílo později vydal pod názvem *al-Zidž al-Sultaní*, rozdílným od původního *al-Zidž al-Gurganí*.

Jeho dílo se tak stalo základem pro tureckou astronomii. V Indii maharádža Jai Singh II, Ulugh Begův obdivovatel, postavil v osmnáctém století pět observatoří na základě té Samarkandské. Do Evropy se Ulugh Begovo dílo dostalo až v sedmáctém století, prvním překladem v Oxfordu roku 1648. To však již bylo pozdě na to, aby nabylo většího významu. V Evropě té doby už existovala přes-

nější pozorování, ať už Brahova z Uraniborgu, nebo Flamsteedova pozorování z Greenwiche, či Heveliova z Gdaňsku [18].



Obrázek 2.3: Meridiánový oblouk v Samarkandské hvězdárně [Obr. 6]

## 3. Evropské mapy a atlasy

Nová éra evropské astronomie nastala příchodem renesance. Na jedné straně se vrátila pozornost k antické kultuře, a tím i k výsledkům tehdejší vědy. Na té druhé se do Evropy začaly dostávat práce z arabského světa. Z překladů *Almagestu* a *Knihy stálic* začala vznikat originální díla, katalogy, mapy i vlastní pozorování. Vytvoření katalogu odpovídalo tvorbě uměleckého díla. Mapy se malovaly ručně, takže nemohly být lehce zkopírovány. Tradice honosně zdobených knih měla ještě nějaký čas pokračovat. Předzvěstí jejího konce byl až vynález knihtisku.

### 3.1 První tištěné hvězdné mapy

#### 3.1.1 Atlas Albrechta Dürera

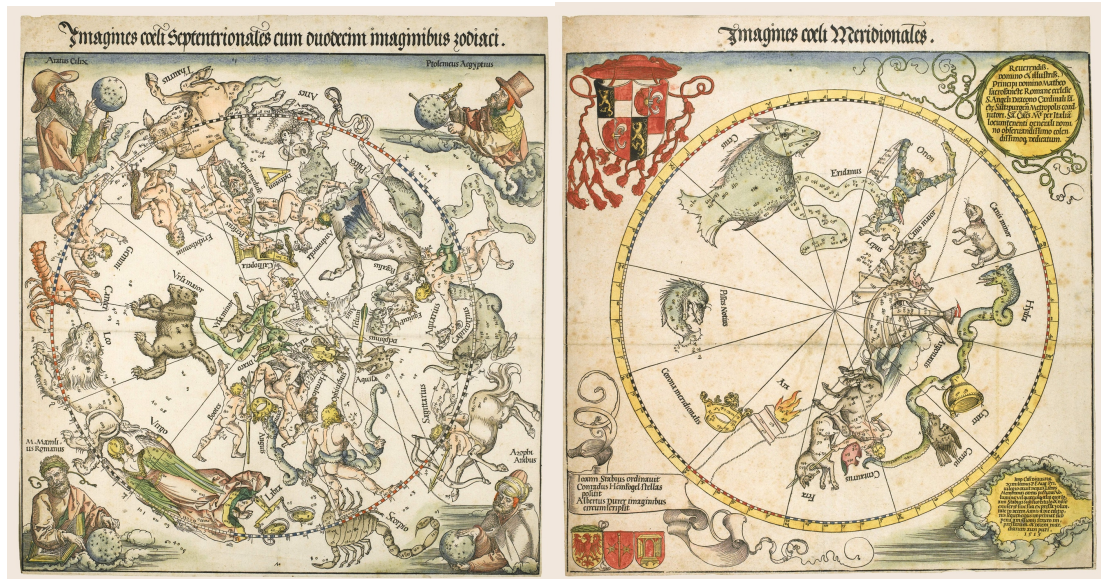
V roce 1515 vytvořil Albrecht Dürer ve spolupráci s matematikem Jonnesem Stabiem a astronomem Conradem Heinfogelem mapu hvězdné oblohy [19]. Nebyla první, natožpak poslední. Její význam ležel v něčem jiném: jednalo se o dřevorezbu určenou k tisku. Tím umožnil snadnou reprodukci tohoto díla a stal se tak autorem nejrozšířenější mapy oblohy období renesance.

Jeho mapa se skládá ze dvou částí – map severní a jižní oblohy od ekliptiky. Zatímco Dürer byl zodpovědný za uměleckou část, tedy podobu jednotlivých souhvězdí, jeho dva spolupracovníci měli za úkol správné umístění hvězd. To bylo převzato ze starších manuskriptů, buď z roku 1440 z Vídně, nebo 1503 z Norimberku. V souladu s norimberskými mapami jsou mapy ve stereografické projekci. Také nově obsahovaly vyobrazené souřadnice, které na starších mapách chyběly. Hvězdy byly označeny čísly odpovídajícími těm v Ptolemaiově katalogu. V rozích díla se nacházela čtveřice významných astronomů minulosti: Aratus, Manilius, Ptolemaios a al-Súfí, psán jako Azophi [20]. Vyobrazen je na Obr.3.1.

Dürerovo dílo, náhle snadno dostupné v porovnání s ostatními, ovlivnilo podobu mnoha dalších map hvězdné oblohy. V roce 1537 Gemma Frisius převedl Dürerovy mapy na glóbus, spojené podél ekliptiky. François Demongenet vyrobil dva nebeské glóby v letech 1552 a 1560, které byly taktéž inspirovány Dürerem, byť s přidanými prvky, jako bylo souhvězdí Honicích psů či souhvězdí Antinous Caspara Vopela, dnes v souhvězdí Orla [20].

#### 3.1.2 Mapy Johannese Hontera

Taktéž významným dílem byla dvojice map Johannese Hontera z roku 1532. Ten se také původně inspiroval u Albrechta Dürera, ovšem provedl několik zásadních změn. Tou nejvýraznější bylo otočení zobrazení souhvězdí. Zatímco Dürer zobrazil svá souhvězdí zvenku, Honter je zrcadlově převrátil na pohled zevnitř. Také podoba jeho díla už se méně držela klasické antické estetiky. Posunul jarní bod o třicet stupňů oproti správné poloze pro datum vzniku. Není však jasné, zda toto zamýšlel, jako by mapa byla z dávné minulosti, nebo zda se jedná o chybu.



Obrázek 3.1: Dürerův atlas v barevném provedení [Obr. 7]

Na rozdíl od Dürera však jeho dílo nejspíš nebylo určeno pro vědeckou práci, ale jako ilustrace k dílům jako byl *Almagest*. Honterovy mapy byly ještě mnohokrát vytištěny, jak dřevěné šablony měnily majitele [20].

### 3.1.3 *Astronomicum Caesareum*

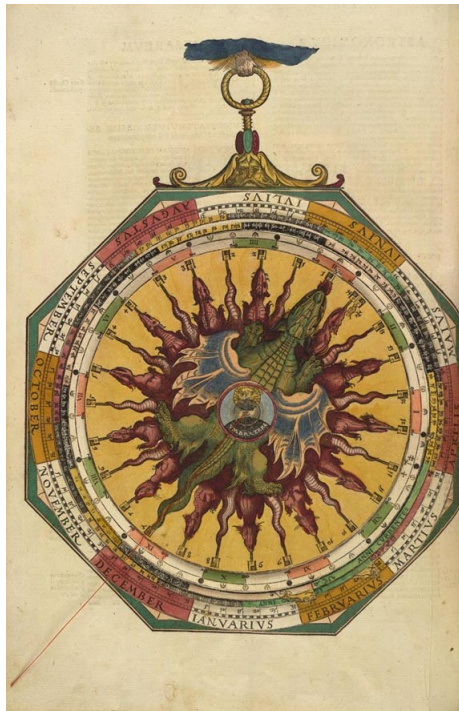
Autorem tohoto již párkrát zmíněného díla z roku 1540 byl Peter Apián. Obsahovalo množství volvell, převážně planetárních. Volvelly, otočné papírové kotouče připevněné uprostřed k listům knihy, umožňovaly určit polohy planet, Slunce či Měsíce na obloze. Jedna z nich je vyobrazena na Obr.3.2. Součástí této knihy byla i jeho mapa, vydaná dříve, roku 1536, samostatně jako *Imagines syderum coelestium*.

Na rozdíl od Dürera byla mapa konstruována v polární ekvidistantní projekci. Jedná se tak o jednu mapu, nikoli o dvě, centrovanou okolo severního pólu. Toto zobrazení je celkem pochopitelné, vzhledem k tomu, že v této době byla ještě stále podstatná část jižní oblohy prázdná. Podobně jako François Demongenet přidal souhvězdí Honicích psů a postavu v souhvězdí Eridanus [20]. Mapa je zobrazena na Obr.3.3.

## 3.2 První atlasy

### 3.2.1 *De le Stelle Fisse*

Ve stejném roce jako Peter Apiánus vydal své *Astronomicum Caesareum*, to jest 1540, stvořil Alessandro Piccolomini spis *De le Stelle Fisse*, neboli O stálicích. Tato kniha se dá považovat za první atlas noční oblohy. Text byl psaný italsky, nikoli latinsky, jak bylo zvykem. Atlas obsahoval 47 ze 48 Ptolemaio-



Obrázek 3.2: Volvella z Apiánova díla *Astronomicum Caesareum* [Obr. 8]



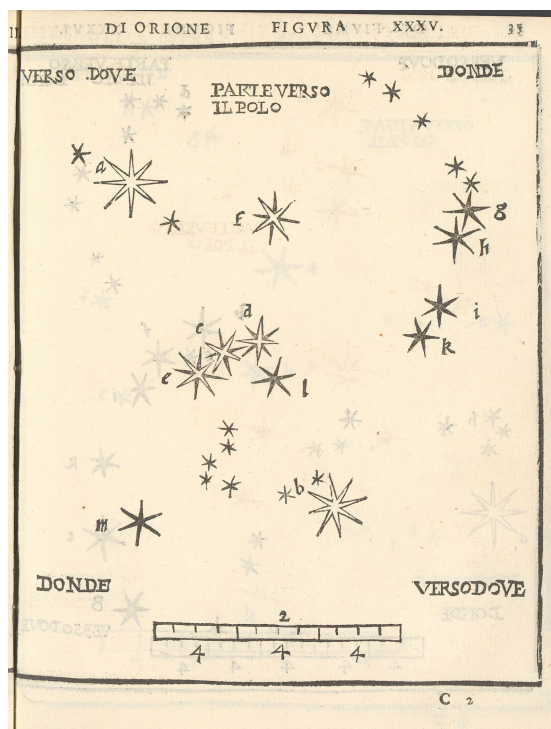
Obrázek 3.3: Mapa Petera Apiána v *Astronomicum Caesareum* [Obr. 9]



vých souhvězdí, Koníček byl vynechán, zřejmě kvůli nedostatku jasných hvězd — Ptolemaios zmiňuje pouze čtyři slabé hvězdy [21].

Na rozdíl od klasických zobrazení hvězdné oblohy té doby sestávaly se mapy tohoto atlasu pouze z jednotlivých hvězd až do páté magnitudy v *Almagestu*. Chyběly jak spoje mezi stálicemi, tak umělecká vyobrazení jednotlivých souhvězdí. Taktéž poprvé použil označení hvězd písmeny. Zatímco dříve byly posány čísla se sestupnou tendencí, Piccolomini značil nejjasnější hvězdu „a“ a dále sestupně dle abecedy. Jednalo se o předzvěst systému, který o šedesát let později použil Johannes Bayer ve své *Uranometrii* [20].

Na jednotlivých mapách také chybí souřadnice a sever není vždy nahoře. Místo toho jsou souhvězdí vhodně natočena tak, aby se vešla na stránku. Ze stejného důvodu se lišila měřítká jednotlivých map. Takovéto strohé zobrazení oblohy však dalece předběhlo svou dobu a pozdější atlasy Bayera, Hevelia či Flamsteeda pokračovaly v obrazové podobě, podobné té Dürerově [21]. Jedno ze souhvězdí z *De le Stelle Fisse* je vyobrazeno na Obr.3.4. Velikosti jednotlivých hvězd na obrázku odpovídají jejich jasnosti — čím jasnější hvězda, tím větší její značka.



Obrázek 3.4: Piccolominiho mapa Orionu z *De le stelle fisse* [Obr. 10]

### 3.2.2 Další atlasy 16. století

Piccolomini nebyl jediným autorem hvězdného atlasu: Heinrich Decimator vydal svůj *Libellus de stelis fixis et erraticis* v roce 1587, Giovanni Paolo Gallucci vydal *Theatrum mundi, et temporis...* v roce 1588. Obě díla obsahují souřadnicové čáry, stejně jako umělecká vyobrazení souhvězdí. Hvězdy jsou značeny číselně, dle Ptolemaiova katalogu. Gallucciho dílo byla šestidílná kniha o astronomii, známé primárně pro početné volvelly. Jeho mapy jsou v trapezoidální projekci s pod-

statně větším počtem čar, než obsahovaly ostatní mapy té doby. Bylo tak podstatně snazší určit souřadnice znázorněných hvězd. Z tohoto důvodu je Gallucioho atlas považován za ten první „pravý“. Ačkoli však obsahuje katalog, hvězdy na mapách nejsou dle něj značeny.

Přišlo ještě mnoho dalších autorů, převážně vycházejících z Dürera, Hontera či Mercatora. Většina obsahovala pouze Ptolemaiových 48 souhvězdí, některé však přidávaly několik nových souhvězdí, jako třeba výše zmíněný Vopel. Podobně Apianus zobrazil ve své *Instrument Buch* několik souhvězdí beduínské tradice. Vysoké procento těchto map bylo součástí map světa, jako menší příložené polární projekce. Naprostá většina zobrazuje oblohu zvenku, jen několik málo (např. Giacomo Gastaldi, Postel) hledí na nebeskou klenbu zevnitř [20].

### 3.2.3 Tycho Brahe

Tento dánský astronom, žijící mezi lety 1546 a 1601, byl jedním z nejvýznamějších pozorovatelů konce šestnáctého století. Sestavil nejvýznamější katalog hvězd od Ptolemaiova *Almagestu*. Také byl jedním z posledních astronomů, pozorujících pouhým okem — ani ne deset let od jeho smrti poprvé otočil Galileo Galilei dalekohled k nebi. O to úžasnější jsou jeho přesná pozorování.

Tycho svůj katalog, často zvaný „tisícihvězdný“, poprvé vydal roku 1598, rok od jeho odchodu z Dánska. Jednalo se o ručně psaný manuskript. První tištěná varianta vyšla rok po autorově smrti ve zkrácené podobě — obsahovala jen 777 hvězd. Až roku 1627 vydal Brahův spolupracovník, Johannes Kepler, celé dílo. To se stalo součástí takzvaných Rudolfských tabulek, pojmenovaných podle císaře Rudolfa II., na jehož dvoře oba muži působili.

Katalog obsahoval 45 souhvězdí. Nepřekrývaly se plně s Ptolemaiovými, protože Tycho Brahe pozoroval podstatně severněji, čímž nemohl vidět jižní část oblohy, kterou Ptolemaios pozorovat mohl. Nahradil to množstvím hvězd, jím zaznamenaných. Například v Kassiopei zmiňuje 46 hvězd, oproti 13 stálícím v *Almagestu*, v Orionu 62 proti 38, ve Velké medvědici 56 vůči 35. Navíc Tycho rozpoznával dvě souhvězdí – Vlasy Bereniky a Antinouse – která byla pro Ptolemaia součástí Lva a Orla. Do dnešního dne nám Vlasy Bereniky zůstaly, Antinous se znovu stal součástí Orla.

Tychonův katalog, ve své zkrácené podobě, se stal základem pro Bayerovu *Uranometrii* [22].

### 3.2.4 Uranometria

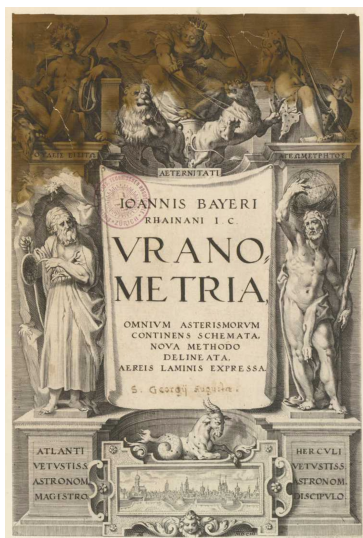
Celým názvem *Ioannis Bayeri Uranometria omnium asterismorum continens schemata, nova methodo delineata aereis laminis expressa*, čili „Uranometrie Johanna Bayera, obsahující diagramy všech hvězd, nová metoda načrtnutá na měděných deskách“, vyšla roku 1603 v Augsburgu. Johannes Bayer (1572 - 1625) byl tamním právníkem se zálibou v astronomii. Jeho atlas obsahoval všech 48 Ptolemaiových souhvězdí. Pro umístění hvězd použil *Almagest* a nově vydaný katalog Tycho Brahe. Zobrazil však také jižní oblohu, na jediné mapě, na které se nacházelo dvanáct nových souhvězdí dle pozorování holandského navigátora Pietera Dirkszoona Keysera. Navíc obsahoval dvojici map pro severní a jižní oblohu vcelku. Celá *Uranometria* tak obsahovala 51 map [23].

*Uranometrii* ilustroval Alexander Mair, využívaje rozličné zdoje jako inspiraci, na rozdíl od předchozích atlasů, které se většinou spoléhaly na jednu předlohu. Použité zobrazení bylo trapezoidální.

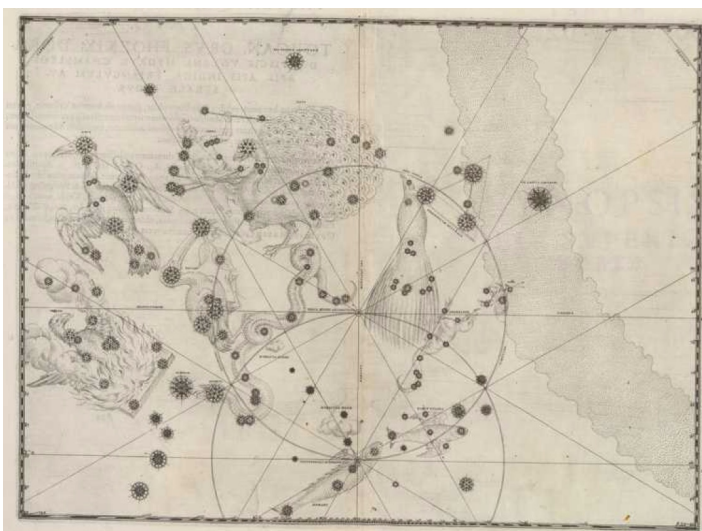
Jeho největším příspěvkem však bylo zavedení nomenklatury, možná inspirované systémem, který použil Piccolomini ve své knize *De le Stelle Fisse*. Trvalo to sice ještě půl století, než další astronomové tuto nomenklaturu začali používat, pro jasné hvězdy nám však vydržela do dnešní doby. Místo Piccolominiho písmen, či staršího číslování podle *Almagestu*, použil řecká písmena. Nejjasnější hvězda souhvězdí se stala alfou, druhá betou etc. Pokud mu řecká písmena došla, přešel do latinky [20].

Vzhledem k mohutnosti díla nedošlo v následujících letech ke vzniku nějakých významnějších konkurentů. Jediným atlasem, který stojí za zmínku mezi *Uranometrii* a Heveliovým dílem je *Coelum stellatum christianum*. Hlavním editorem byl Julius Schiller, který se však nedožil vydání. Atlas byl vydán po jeho smrti, roku 1627.

Cílem tohoto díla bylo kompletní přepracování podoby souhvězdí na obloze. Každé jednotlivé z nich se stalo postavou z Bible. Nikdy dříve ani později nedošlo k tak radikální změně v kartografii nebes. Efektivně se však stále jednalo o variantu Bayerova atlasu. Bayer sám dokonce na tomto díle spolupracoval [20].



(a) Titulní strana



(b) Mapa jižní oblohy – souhvězdí Páva, Tukana, Fénixe, Mečouna, Létajících ryb, Malého vodního hada, Chameleona, Včely (Mouchy<sup>1</sup>), Rajky, Jižního trojúhelníku a Indiána

Obrázek 3.5: *Uranometria* [Obr. 11]

<sup>1</sup>Označena jako *Apis* v Bayerově díle, tedy Včela. V roce 1752 ji francouzský astronom Nicolas Louis de La Caille přejmenoval na *Musca Australis*, tedy Jižní moucha. Dnes používáme zkrácený název, Moucha [24].

## 3.3 Podrobnější mapování oblohy

### 3.3.1 Heveliova *Uranographia*

Jan Hevel, spíše znám pod latinským jménem Johannes Hevelius, či jen Hevelius, byl bohatým sládkem z Gdaňsku. Narodil se 28. ledna 1611 a zemřel stejného data roku 1687. Postavil si vlastní hvězdárnu „Sternenburg“, čili Hvězdňý hrad, v horních patrech čtyř domů. Byl autorem map Měsíce, pozorovatelem komet a také autorem nového hvězdného katalogu. Naměřil celkem 1564 hvězd, tedy o polovinu více než Ptolemaios či Tycho Brahe. On sám však tento katalog nevydal. Ten vyšel až roku 1690 díky jeho druhé ženě Elizabeth Margarethe Koopman. Jednalo se o dvě díla: katalog *Prodomus Astronomiae* a atlas *Uranographia*. Atlas obsahoval 54 map. Obě díla také obsahovala šestnáct „mlhavých hvězd“. Avšak pouze dvě z nich, M31 (Velká galaxie v Anromedě) a M44 (hvězdokupa Jesličky, lat. *Praesepe*), jsou skutečné objekty hlubokého vesmíru (ang. deep sky objects). Nalézt ty ostatní se pokoušelo mnoho astronomů, včetně Derhama či Messiera, prvních autorů katalogů těchto objektů [25].

Ačkoli byl Hevelius vlastníkem dalekohledu, veškerá měření pozic hvězd prováděl i nadále pouhým okem, obávaje se zkřivení obrazu skrze čočku a tedy změny polohy. Jeho atlas doplňovaly obrazy francouzského řezbáře Charlese de la Hayeho. Pro mapy jižní oblohy použil Hevelius data od britského astronoma Edmonda Halleyho, pozorujícího z ostrova Svaté Heleny. Na severní obloze doplnil deset nových souhvězdí, včetně souhvězdí Štítu.

Jeho *Uranographia* byla věnována polskému králi Janu III. Sobieskému, díky čemuž je toto dílo známo také jako *Firmamentum Sobiescanum*. A právě zmíněné souhvězdí Štítu pojmenoval Hevelius Štít Sobieského. V dnešní době však už přízvisko chybí.

*Uranographia* vyobrazuje souhvězdí zezadu, jako bychom se na ně dívali zvenčí, zatímco postavy se dívají dovnitř. Také chybí jakékoli značení jednotlivých hvězd, ať už výše zmíněné Bayerovo, nebo jen nějaké propojení s Heveliovým vlastním katalogem. Z obou těchto důvodů se hvězdy v atlase velice špatně určují [23]. Příkladem tohoto zobrazení je souhvězdí Vozky na Obr.3.6.

### 3.3.2 *Atlas Coelestis*

John Flamsteed, žijící mezi lety 1646 a 1719, byl synem obchodníka z Denby v Anglii. Navzdory přáním svého otce studoval astronomii a roku 1675 se stal prvním Královským astronomem na doporučení Jonase Moorea. Byla pro něj postavena Královská observatoř v Greenwichi, ovšem přístroje si musel sehnat na vlastní náklady.

Z Greenwiche měřil pozice hvězd. V rámci jeho pozorování se mu podařilo nalézt Uran, katalogizovaný jako „34 Tauri“; našel celkem 16 mlhavých objektů, včetně znovuobjevení mlhoviny M8 Laguna či otevřené hvězdokupy M41.

Flamsteed dlouho odmítal zveřejnit svůj katalog, pracoval ještě na zdokonalení přesnosti pozic hvězd. Edmond Halley se jej snažil přemluvit, na popud Isaaca Newtona, ale marně. Nakonec Halley získal peníze na publikaci. Navzdory



Obrázek 3.6: Vyobrazení Vozky v Heveliově *Uranographii* [Obr. 12]

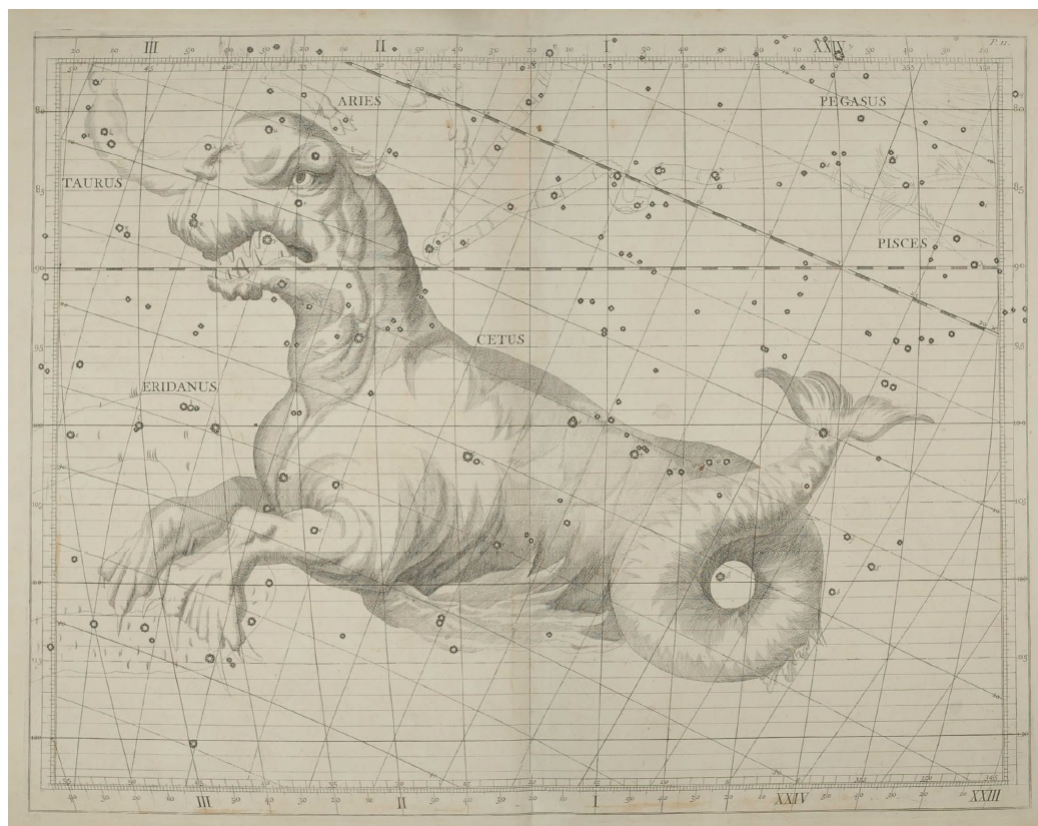
protestům ze strany Flamsteeda a smrti svého mecenáše Halley roku 1712 publikoval 400 kopií *Historia Coelestis Britannica*. Více jak tři sta z nich Flamsteed vykoupil a spálil.

Oficiálně vyšel katalog *Stellarum Inerrantium Catalogus Britannicus* až po Flamsteedově smrti v roce 1725. *Atlas Coelestis* byl atlas spjatý s tímto katalogem [26], vydaným o čtyři roky později.

Na rozdíl od předchozích autorů, kteří dávali každému souhvězdí jednu mapu, v tomto případě byla obloha rozdělena na oblasti, které obsahovaly různé počty souhvězdí. Z toho důvodu se také některá souhvězdí dostávala na více map, nebo byla mezi ně rozdělena. Jižní obloha, tedy ta část nepozorovatelná z Greenwiche, byla shrnuta jednou mapou, podobně jako v Heveliově díle dle pozorování Edmonda Halleye ze Svaté Heleny mezi lety 1677 a 1678. *Atlas Coelestis* obsahuje 55 souhvězdí. Chybí dvě z *Almagestu*, kvůli své nepozorovatelnosti z Greenwiche. Šest souhvězdí převzal Flamsteed od Hevelia, dnes je používáno ještě jedno, totiž Štít, který znovu uznal až Bode ve své *Uranographii* — možná kvůli stejnému názvu? Zbývající tři souhvězdí, která Flamsteed přidal, byla Žirafa, Vlasy Bereniky a Jednorozec. Na rozdíl od Bayera jsou postavy zobrazeny zepředu, pokud možno co nejvěrněji Ptolemaiovým popisům [27].

Flamsteedovi jsou připisována takzvaná Flamsteedova čísla. Jedná se o číslování hvězd dle jejich jasnosti. V dnešní době se používá simultánně s Bayerovým systémem řeckých písmen, primárně pro hvězdy, které se do Bayerovy nomenklatury už nevejdou.

Oficiální vydání katalogu však tato čísla neobsahuje. Existují dva hlavní zdroje: neoficiální verze Halleyova a revidovaná verze Lalandova. Ta neoficiální neobshovala všechny hvězdy, které se nakonec objevily v *Atlasu Coelestis*. Číslování tak



Obrázek 3.7: Vyobrazení okolí Velryby v Flamsteedově *Atlasu Coelestis* [Obr. 13]

nebylo stejné. Lalande sám píše ve své předmluvě, že se touto verzí nechal inspirovat, ovšem musel čísla změnit, aby odpovídala plnému počtu.

Flamsteedův oficiální katalog obsahoval sloupce s číslováním dle Ptolemaia a Tycho Brahe, stejně jako Bayerovu nomenklaturu. K těmto Lalande v roce 1783 přidal ona Flamsteedova čísla. Podobný sloupeček „Fl. No.“ se ovšem objevil i v Bodeho tabulkách *Sammlung astronomischer Tafeln* z roku 1776, tedy o pár let dříve. Porovnáním s dnešními Flamsteedovými čísly je však jasné, že se ujalo Lalandovo číslování [27].

### 3.3.3 Nicolas Louis de La Caille

Veškerá zaznamenaná pozorování oblohy se po dlouhé věky prováděla jen na severní polokouli. Ať už to byli Babylóňané, staří Řekové, Arabové středověku či evropští pozorovatelé pozdějších dob, vždy existovala oblast oblohy, kterou pozorovat nemohli. To se změnilo se zámořskými objevy. První evropští mořeplavci se dostávali na jižní polokouli — a stejně jako na té severní používali hvězdy k orientaci. Není tak divu, že jedno z prvních vyobrazení nebes okolo jižního pólu, v Bayerově *Uranometrii*, využívalo data od navigátora. Dalším klíčovým mužem už byl astronom – Edmond Halley ze stanice britského impéria na Svaté Heleně.

Dalším zajímavým pozorovatelem jižní oblohy byl Čech, jezuitský misionář Otec Franciscus (František) Noël (1651 - 1729). Svá pozorování prováděl z Indie a z Číny (mimo jiné z Macaa a Goy). Vydal dva katalogy o 220 a 352 hvězdách [28].

Prázdná místa však vyplnil Francouz. Nicolas Louis de La Caille (1713 - 1762) doplnil v roce 1750 do Jižní Afriky, kde si postavil observatoř na Mysu Dobré na-

děje. Stála pod Stolovou horou, podle které La Caille pojmenoval jedno z nových souhvězdí. Během jednoho roku zde napozoroval skoro 10 000 hvězd. V roce 1754 se vrátil do Francie, kde prezentoval mapu se čtrnácti novými souhvězdími.

Finální podoba jeho práce však vznikla až po jeho smrti, vydáním katalogu *Coelum Australe Stelliferum* v roce 1763. Obsahoval 1942 položek, až do šesté magnitudy. Bylo to v tomto katalogu, kde byla loď Argo rozdělena na tři části — Plachty, Lodní kýl a Lodní zád, které jako samostatná souhvězdí používáme do dnešní doby. Nově zavedená souhvězdí pojmenovával podle vědeckých přístrojů a uměleckých nástrojů — například Dalekohled, Oktant, Kružítko, Chemická pec (dnes Pec), Mikroskop, Hodiny, Vývěva, Sochařova dílna (dnes Sochař), Rydlo a další [29].

### 3.3.4 Bodeho *Uranographia*

Johan Elert Bode (1747 - 1826) působil jako ředitel Berlínské hvězdárny. Vytvořil svůj vlastní atlas, společně s katalogem, jako jakési shrnutí — používal svá vlastní data, stejně jako ta Flamsteedova, La Caillova či Lalandova. Jeho *Uranographia* vycházela postupně od roku 1797 až do plného vydání v roce 1801. Jednalo se o první atlas, který zobrazoval víceméně všechny hvězdy viditelné pouhým okem (tj. do šesté magnitudy), navíc s širokým výběrem hvězd až do osmé magnitudy. Jeho dílo jich tak v porovnání s Flamsteedovými 3000 hvězdami obsahovalo mnohem více, přes 17 000. Také se jednalo o první atlas, který znázorňoval hranice mezi souhvězdími, byť jen náznakem. Navíc signalizoval konec éry obrazových atlasů. Pozice a jasnosti jednotlivých hvězd měly být nadále významnější, než umělecká vyobrazení souhvězdí [27].

## 3.4 Velká Medvědice

Na obloze máme, rozhodnutím Mezinárodní astronomické unie z roku 1930, 88 souhvězdí. V minulosti jich bývalo více, často se překrývaly, navíc ani nebylo jasně stanoveno, jestli hvězdy mimo zavedené obrazce patří do souhvězdí, a když už, tak do jakého.

Nehledíce na tyto nejasnosti, seskupovali astronomové svá pozorování podle jednotlivých souhvězdí minimálně už v době prvních záznamů. Není tak obtížné nalézt sady stálic patřící k jednomu z nich — a porovnat, jaká byla jejich jasnost dle různých pozorovatelů. V následující kapitole se ukáží problémy okolo tohoto srovnávání, ale prozatím můžeme složit dohromady data z několika významných katalogů či atlasů: Ptolemaiova *Almagestu*, Tychonova katalogu, Piccolominiho *De le Stelle Fisse*, Bayerovy *Uranometrie*, Heveliova katalogu (*Uranographia*), Flamsteedova *Atlasu Coelestis* a Bodeho *Uranographie*.

Díky zahrnutí Bodeho a Bayera lze určit dnešní značení těchto hvězd — Bode uvádí Flamsteedova čísla a obecně se jedná o nejmohutnější katalog ze zmíněných.

V tabulce 3.1 jsou uvedeny jasnosti všech hvězd z Bayerova katalogu ve Velké medvědici (*Ursa Major*, mezinárodní značení UMa). Z použitých katalogů Tychoňův a Hevelioův se s Bayerovým nepřekrývají plně, Hevelioův a Bodeho přesahují jeho rozsah, v případě Bodeho o několik řádů. Vzhledem k nejasným hranicím souhvězdí se však velká část nezmiňovaných hvězd nachází v jiných souhvězdích.

Bayerovo značení	Flamsteedovo číslo	Vizuální magnituda	Almagest	Tycho	Piccolomini	Uranometria	Hevelius	Flamsteed	Bode
$\alpha$	50	1,8	2	2	2	2	2	1,2	2
$\beta$	48	2,4	2	2	2	2	2	2	2
$\gamma$	64	2,4	2	2	2	2	2	2	2
$\delta$	69	3,3	3	2	3	2	3	2,3	3
$\epsilon$	77	1,8	2	2	2	2	2	3	2
$\zeta$	79	2,1	2	2	2	2	2	3	2
$\eta$	85	1,9	2	2	2	2	2	3	2
$\theta$	25	3,2	3	3	3	3	3	3,4	4
$\iota$	9	3,1	3	3	3	3	3	4	4
$\kappa$	12	3,6	3	3	3	3	3	4	4
$\lambda$	33	3,5	3	4	3	4	4	3,4	3
$\mu$	34	3,0	3	4	3	4	4	3	3
$\nu$	54	3,5	3	4	3	4	4	4	6
$\xi$	53	3,9	3	4	3	4	4	4	4
$o$	1	3,4	4	4	4	4	4	4,5	4
$\pi$	4	4,6	5	—	—	4	—	5	5
$\pi 2$	3	5,6	—	5	—	—	5	6	5
$\rho$	8	4,8	5	4	—	4	4	5	5
$\sigma 1$	11	5,2	—	—	—	—	—	5	5
$\sigma$	13	4,8	5	4	—	4	5	5	5
$\tau$	14	4,7	4	—	4	4	4	5	5
$v$	29	3,8	4	4	4	4	4	4	4
$\phi$	30	4,6	4,3	4	4	4	4	5	5
$\chi$	63	3,7	—	4	—	4	4	4	4
$\psi$	52	3,0	3,7	4	—	4	4	3,4	3
$\omega$	45	4,7	—	—	5	4	5	4,5	4
A	2	5,5	5	4	—	5	4	5	5
b	5	5,7	—	—	—	5	5	6	5
c	16	5,2	—	5	—	5	5	5	5
d	24	4,6	5	5	—	5	5	4,5	5
e	18	4,8	4	5	4	5	5	5	5
f	15	4,5	4	5	4	5	5	5	5
g	80	4,0	—	—	—	5	5	5	5
h	23	3,7	4	4	4	5	4	4	4

Tabulka 3.1: Určené jasnosti hvězd z Bayerovy *Uranometrie* ve Velké Medvěďici v různých katalozích

V případě Hevelia, Flamsteeda a Bodeho pak uvedené jasnosti přesahují limit pouhého oka, či jsou na jeho samé hranici. Seznam by se tak značně rozšířil. Bayerem označené hvězdy jsou tak dobrým kompromisem mezi množstvím a jejich jasností — navíc se Bayerovo značení dosud používá.

Z těchto hvězd jsou  $\pi$  UMa a  $\sigma$  UMa dvojhvězdy. Druhá složka je v seznamu doplněna svým indexem, složka bez indexu odpovídá té zaznamenané Bayerem. Hvězda s označením A UMa jako jediná o své Bayerovo značení přišla, a je katalogizována jako 2 UMa.

Vizuální magnituda je převzata z programu Stellarium [30], použitím mimo jiné k identifikaci některých hvězd v katalozích — vyjma *Almagestu*, převzatém z přepisu Dennisem Dukem, viz [31], byly použity jejich digitalizované formy, viz [32] [33] [34] [35] [36] [37].



## 4. Matematická přesnost

Jednotka magnitudy, poprvé naznačená Hipparchem a pojmenovaná Ptolemaiem, se stala ústředním symbolem fotometrie. Její definicí se však od jejího vzniku nikdo zásadně nezabýval. Původně měla určovat jasnosti hvězd viditelných pouhým okem: od těch nejjasnějších, po ty stěží viditelné. Ale s příchodem dalekohledu se musela tato škála zvětšit, protože lepší optika umožnila pozorovat i hvězdy, pouhým okem dosud neviděné. Šestidílnou stupnici tak protáhli na osmi- až devítidílnou. Ale jaký vztah k sobě jednotlivé hodnoty měly? Natožpak jak fungovalo jakékoli dělení těchto celých čísel?

Škála nebyla ani lineární, ani logaritmická. Té druhé se však dostatečně blížila. Dostatečně na to, aby se taková škála stala základem pro novou, rigorózní definici magnitudy v polovině devatenáctého století.

### 4.1 William a John Herschelovi

#### 4.1.1 William Herschel

William se narodil roku 1738 v Německu do rodiny muzikanta Isaaca Herschela. Byl jedním ze sedmi dětí, a ačkoli jeho otec nebyl bohatý, podařilo se mu sehnat instruktora cizích jazyků, který jej a jeho bratry učil i matematiku a filosofii.

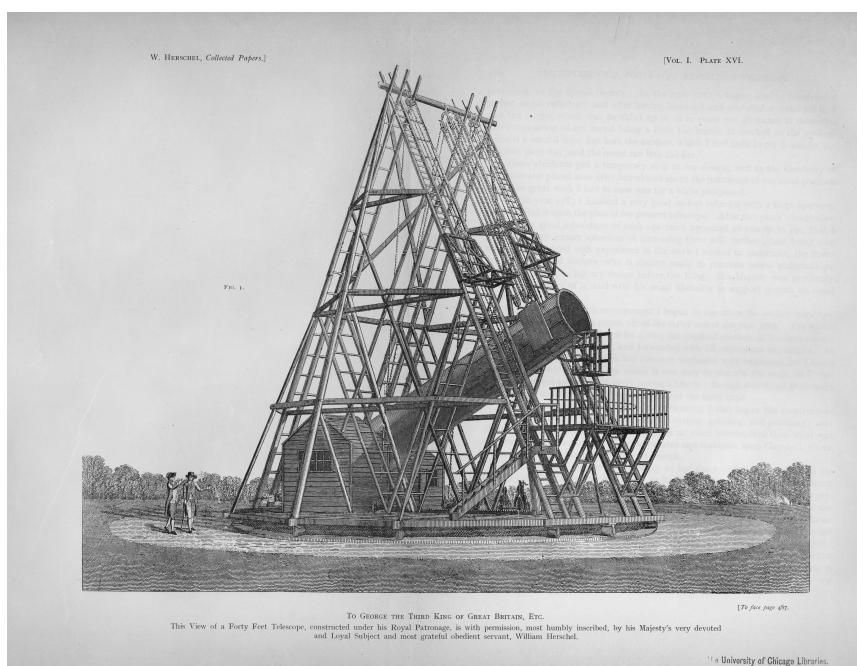
Roku 1757 přepluli William se svým bratrem Jacobem do Anglie, snažíce se uprchnout před začínající sedmiletou válkou. Pracoval jako muzikant na volné noze, než se stal varhaníkem ve farním kostele v Halifaxu a následně hudebním ředitelem v Bathu. Tam za ním dorazili jeho mladší bratr Alexander a sestra Caroline. Oba se stali důležitými postavami v jeho vědecké kariéře. Alexander mu pomáhal se stavbou dalekohledů. Caroline se stala jeho asistentkou a kompetentní pozorovatelkou. Mimo jiné se jí podařilo objevit sedm komet.

Williamova dráha hudebníka zřejmě nebyla dostatečně náročná. Záhy se věnoval matematice, pak astronomii. Začal si stavět vlastní dalekohledy, jejichž pozoruhodnou přesnost připisoval svému „drnkání“. Většina jeho pozorování byla provedena 18-ti (46 cm) palcovým reflektorem, ale známější bylo monstrum se zrcadlem průměru čtyř stop (122 cm), kterýžto dalekohled se stal známou místní atrakcí. Nikdy však nesplnil stavitelova očekávání. Jeho podoba je vyobrazena na Obr.4.1.

Herschel prováděl systematické přehlídky oblohy, hledaje cokoli zajímavého. Započal roku 1775 a 13. března 1781 nalezl cosi, co popsal „mlhavá hvězda či kometa“. Objevením Uranu se stal slavným a skončil s hudební kariérou. Stal se astronomem Jiřího III., na doporučení sira Josepha Bankse, ředitele Královské společnosti. Kvůli svým povinnostem, byť nemnohým, se musel přestěhovat do blízkosti Windsoru. Usadil se ve městě Slough.

V roce 1785 se oženil s vdovou Mary Pitt, se kterou měl roku 1792 syna Johna. Ten se měl původně stát právníkem, ale kariéru opustil, aby mohl pomáhat svému otci. Roku 1822 pak William Herschel umírá. Jeho sestra se poté přestěhovala zpět

do Hannoveru, aby dožila své poslední roky. Tyto „poslední roky“ se protáhly na 26 let [38].



Obrázek 4.1: Herschelův 40-ti stopý dalekohled (pojmenovaný dle své délky, průměr zrcadla byl čtyři stopy), vyobrazený v *The Scientific Papers of Sir William Herschel* z roku 1912 [Obr. 14]

Herschel se zabýval pozorováním všeho možného: planet, komet, jednotlivých hvězd, pokoušel se nalézt paralaxu. Díky tomu našel také množství dvojhvězd. Navíc našel několik tisíc objektů hlubokého vesmíru, čímž o řád překonal Messierův katalog [38]. Bylo to však jeho katalogizování hvězd, čím přispěl k posunu fotometrie. Uspořádal asi 3000 stálic v různých souhvězdích dle jejich jasnosti. Tento seznam tak byl nejranějším přesným soupisem vzájemných jasností hvězd [39].

Herschel pro porovnání používal systém šesti kroků, které udávaly, jak mnoho se jasnost hvězdy liší od jiné. Pickering došel k závěru, že Herschelova přesnost byla jen o trochu horší, než desetina magnitudy. Zinner pak uvádí tuto chybu jako  $\pm 0.17$  mag. Tato přesnost, a později zpřesnění jeho synem, se blíží uznávané hranici pro vizuální fotometrii,  $\pm 0.1$  mag [4].

Tyto hodnoty jsou podstatně lepší, než chyby všech jeho předchůdců, s chybami o půl magnitudy u jasných hvězd a jeden a půl magnitudy u těch slabších. Hodnotu magnitud však nevyužíval. Dobře si uvědomoval neurčitost této jednotky a místo toho skládal hvězdy do sekvencí. Svůj postup popsal takto:

„Vkládám každou hvězdu, místo udání její magnitudy, do krátké série sestavené dle jasnosti nejbližších hvězd. Například pro vyjádření jasnosti  $D$ , říkám  $CDE$ . Touto krátkou notací, místo popisu hvězdy  $D$  podle imaginárního neurčitého standardu, popisují ji dle přesného, daného existujícího standardu.  $C$  je hvězda s vyšší jasností než  $D$ ; a  $E$  je další, nižší jasnosti než  $D$ .“ (Přeloženo z [28])

Následně začal přidávat jemnější dělení, pomocí jím zvolených symbolů. Ty se nakonec rozrostly na oněch zmíněných šest kroků, či stupňů. Hvězdy řadil do sekvencí pro jednotlivá souhvězdí, využívaje Flamsteedův katalog a zapisuje je

pomocí Flamsteedových čísel. Všechny jím pozorované a zapsané stálice tak byly viditelné pouhým okem, i když pro ty slabší občas využil dalekohledu [28]. Za svůj život napozoroval jasnosti skoro tři tisíc hvězd [9]. Celkem sepsal šest katalogů se 3010 měřeními pro 1251 hvězd. Čtyři z nich stihl vydat mezi lety 1796 a 1799. Zbylé dva z nich našel, roku 1883, Edward Pickering připravené k tisku [28].

### 4.1.2 John Herschel

Syn Williama Herschela, John (1792 - 1871) pokračoval v otcově práci. Odcestoval do Jižní Afriky na Mys Dobré naděje, kde pokračoval ve vytváření sekvencí. Strávil tam čtyři roky, mezi 1834 a 1838. Na rozdíl od svého otce však zaznamenával hvězdy nikoli po souhvězdích, ale po nocích. Z těchto pozorování pak vytvořil jeden souvislý seznam, porovnáním hvězd nacházejících se ve více sekvencích. Cestou zpátky se navíc pokusil o propojení severní a jižní oblohy.

Následovalo propojení se systémem magnitud. Použil předchozí díla jako svůj standard, používaje jejich průměr jako kalibraci pro své hodnoty. Při svých pozorováních zanedbával některé okolnosti - různé barvy hvězd, atmosférickou extinkci. Taktéž pozoroval za měsíčních nocí, kdy — ačkoli se vyhýbal okolí jasného Měsíce — přece jen se výsledky měření mohly lišit. Pozorování v blízkosti horizontu se ovšem vyhýbal. I přes všechny nedostatky dosáhl přesnosti, odhadnuté Zinnerem na  $\pm 0.12$  mag.

Na severní polokouli pokračoval ve svých pozorováních, s cílem vytvořit hvězdné mapy. Ty však nikdy nedokončil, poněvadž se dozvěděl o Argelanderově projektu *Uranometria Nova*. Přece jen část z nich prezentoval v roce 1867 v Královské astronomické společnosti [28].

Byl prvním, kdo se pokusil formulovat matematickou závislost mezi jasností hvězdy a její magnitudou. Došel k závěru, že zeslabení jasnosti na geometrické škále by mělo odpovídat nárůstu magnitudy aritmetickou škálou. Taktéž odhadl jasnost první magnitudy vůči šesté magnitudě jako stonásobek jasnosti. Tento závěr odpovídá Fechnerovu zákonu, který říká, že stimulus rostoucí geometricky produkuje reakci s aritmetickým nárůstem; ovšem přestává platit pro extrémní hodnoty oběma směry. Pro hvězdu by tedy platilo, že  $I_m : I_{m+\Delta m} = k^{\Delta m}$ , kde  $I_m$  je jasnost hvězdy,  $m$  její magnituda a  $k$  je pak světelný koeficient. Tento koeficient však nebyl jednoznačně určen a různé zdroje používaly jinou hodnotu. Pohybují se však okolo 0.40 pro  $\log k$ . Navíc se ani nejednalo o konstantu v jedné jediné sadě hvězd (katalogu). To později vedlo Pogsona k definatorickému zavedení magnitudy [9].

## 4.2 Norman Pogson

Norman Robert Pogson se narodil v roce 1829 do rodiny továrníka George Owena Pogsona. Měl se stát dědicem rodinné továrny, kvůli čemuž jej otec poslal na ekonomickou školu. Mladý Pogson byl však fascinován vědou, v čemž ho jeho matka podporovala. Když se rodina přestěhovala do Manchesteru, Norman začal docházet na soukromé lekce matematiky. V šestnácti letech vzdal formální vzdělávání a chtěl se stát učitelem matematiky. Ve stejné době se setkal s Johnem Hindem, který jej doporučil do Londýna svému synovi Johnu Russeleu Hindovi. Ten byl astronomem v George Bishop's South Villa Observatory.

Pogson byl uchvácen Hindovou prací v oblasti komet, asteroidů a proměnných hvězd. Tyto se také staly jeho hlavním zájmem po celou jeho kariéru. Propočítal dráhy několika komet či planety Iris, kterou Hind roku 1847 objevil. Zatímco do té doby se Pogson živil učením matematiky — na hvězdárně se vlastně jen učil — teď jej přijal Hind, který se mezitím stal ředitelem observatoře, za asistenta. V roce 1849 si vzal za manželku Elizabeth Jane Ambrose.

V roce 1851 se přesunul na hvězdárnu Radcliffe v Oxfordu. Zde pracoval pro Manuela Johna Johnsona. Ten se v té době zabýval hvězdnými magnitudami. Během práce zjistil, že poměr jasností mezi dvěma magnitudami je 2.43 a je nezávislý na magnitudě či pozorovateli. Pogson sám došel k hodnotě 2.4.

Roku 1859 se stal ředitelem hvězdárny v Hartwell House. Zde publikoval katalog proměnných hvězd. Roku 1860 se pak stal královským astronomem v Madrásu v Indii. Od té doby se vzdálil od britské vědecké komunity, jak geograficky, tak ideově. Pokračoval v hledání asteroidů, proměnných hvězd a dvojhvězd, často se dostáváje do sporu s nadřízenými v Královské astronomické společnosti. Jedním z případů byla přehlídka jižní oblohy v roce 1863. Oficiální plán počítal s pozorováním ze Sydney, s čímž Pogson tvrdě nesouhlasil. Projekt tak začal po vlastní ose. O pár let později mu zemřela manželka na cholera, pak syn. Jeho jediný asistent, syn místního brahmána Chintamany Ragoonatha Chary rezignoval po čtyřech desetiletích spolupráce v roce 1878. Zemřel o dva roky později.

Ve stejné době konečně začaly vycházet Pogsonovy práce, počínaje prvním dílem knihy *Results of Observations of the Fixed Stars*. To už se jej ale v Královské astronomické společnosti chtěli jen zbavit. Jen jeho přátelství s místní administrativou a vzdálenost Indie od Británie jej uchránily od ztráty postu. Nakonec zemřel na rakovinu jater roku 1891, jeho dílo zůstalo nedokončeno [40].

Jeho význam pro fotometrii je v návrhu, uvedeném ve dvou jeho člancích: Zafixovat poměr mezi dvěma magnitudami na 2.512, v zásadě volně vybrané hodnotě, dostatečně blízké experimentálně změřeným rozdílům mezi magnitudami, mimo jiné Herschelem, Struvem, Argelanderem či jím samotným. Nebyl jediný, kdo něco podobného navrhl — Karl Bruhns používal hodnotu  $e$ , tedy základ přirozeného logaritmu. Navíc Pogsonův malý věhlas a nepřátelství s vedením Královské astronomické společnosti, zejména s Airym, vedly k ignorování tohoto návrhu. Totiž až do příchodu Pickeringa, který tuto hodnotu bez větších okolků použil ve svojí práci. A skrze něj se stala standardem. Výsledný vztah, a tedy takzvaná Pogsonova rovnice, tudíž vypadá jako  $\Delta m = 2.5 \log I_m / I_{m+\Delta m}$ . Jediným problémem je nulová hodnota (ve tvaru  $m = 2.5 \log I_m + c$ ). Jako referenční hvězdu volil Pickering Polárku s magnitudou  $m = 2.0$ . Tato hodnota byla později změněna na 2.15 a 2.12, dříve než se zjistilo, že se jedná o proměnnou hvězdu [28].

### 4.3 F. W. A. Argelander

Friedrich Wilhelm August Argelander se narodil v přístavním městě Memel ve Východním Prusku 22. března 1799. V dnešní době se město jmenuje Klaipėda a nachází se v Litvě. Otec byl Fin, matka Němka. Argelander studoval v Královci (Königsberg) pod F. W. Bessellem. Doktorát získal roku 1822. Následně se stal ředitelem hvězdáren v Turku a v Helsinkách. V roce 1836 se vrátil do Německa, kde se stal ředitelem Bonnské university.

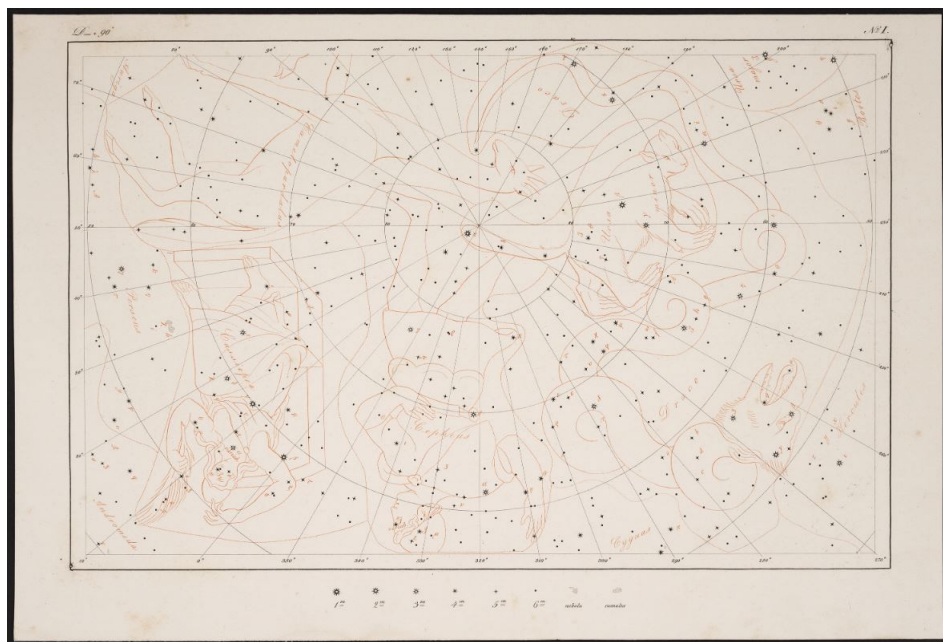
Přátelil se s králem Fridrichem Vilémem IV., se kterým se setkal, když ještě jako mladý princ uprchl z Pruska po Napoleonově vítězství u Jeny v roce 1806. Tehdy se dva z pruských princů ubytovali u Argelanderů doma. Jedním z nich byl právě Fridrich.

Díky tomuto přátelství získal peníze na stavbu nové hvězdárny v Bonnu [41]. Jeho pozorování vedla ke vzniku třídílného atlasu *Bonner Durchmusterung* obsahujícího 324 198 hvězd [42]. Ten byl pokračováním práce jeho učitele Bessela, který katalogizoval 50 000 hvězd [41]. Jeho druhým dílem byl atlas a katalog *Uranometria Nova*, jméno zvolené jako odkaz na o dvě století starší dílo Johannese Bayera [43].

Zemřel v Bonnu 17. února 1875 [42].

### 4.3.1 *Uranometria Nova*

Toto dílo je jakýmsi mezikrokem v Argelanderově práci. Když se roku 1836 stal ředitelem v Bonnu, hvězdárna ještě nestála. A trvalo nějakou dobu, než byla dostavěna. V mezích se tak jal katalogizovat hvězdy viditelné pouhým okem do deklinace  $-37^\circ$ . Jeho katalog obsahoval 3256 objektů. Jasnosti odhadoval k nejbližší třetině magnitudy (se zápisem 1; 1-2; 2-1; 2; etc.). Pozice pak přebíral z různých starších katalogů, upravených na rok 1840. Hvězdy byly rozděleny mezi 57 souhvězdí na šestnácti deskách. Navíc dílo obsahovalo sedmnáctou desku s jižní oblohou. Mapy byly doplněny obrazy podle staršího Bayerova atlasu, byť pouze v obrysech. Ty byly zbarveny červeně, zatímco jednotlivé hvězdy černě. Při nočním pozorování by tak pod červeným světlem obrazy zmizely, což umožňovalo snazší orientaci [43]. Jeden z listů je vyobrazen na Obr.4.2. Červená barva už je stářím zahnědlá.



Obrázek 4.2: Okolí severního pólu v atlasu *Uranometria Nova* [Obr. 15]

### 4.3.2 *Bonner Durchmusterung*

Třídílný katalog a atlas o čtyřiceti deskách byly kulminací Argelanderova díla. Zaznamenány byly hvězdy až po devátou magnitudu, někdy i dále. Měření byla provedena mezi lety 1852 a 1859 refraktorem o průměru 78 mm (tzv. hledačem komet), za pomoci dvou Argelanderových asistentů E. Schönfelda a A. Krügera. Publikovány byly roku 1863, obsahující oblohu od severního pólu po  $-2^\circ$  deklinace. Roku 1886 vydal Schönfeld novou verzi, obsahující o jeden díl navíc. Tento díl rozšířil katalog až na  $-23^\circ$  deklinace. Nový *Südliche Bonner Durchmusterung* obsahoval o 133 659 hvězd na 24 deskách více. V roce 1932 pak v Argentině vzniklo druhé rozšíření, takzvané *Cordoba Durchmusterung*, které přidalo 613 953 hvězd až po jižní pól. Atlas neobsahoval žádné obrazy souhvězdí a u hvězd se dala rozlišit pouze magnituda (dle velikosti značky). Pro přesnější určení bylo třeba využít katalogu, kde byly vypsané v oblastech o jednom stupni deklinace. Tento „BD“ systém se používá dodnes [42].

Pozice hvězd byly určovány pomocí „driftu“, kde je dalekohled fixovaný v deklinaci a hvězdy volně procházejí přes zorné pole. Při průchodu linkou se stupnicí ve středu pole je zaznamenán čas, odečtena deklinace pomocí stupnice a zaznamenaná magnituda. Z času je určena rektascenze. Určení magnitud mělo přesnost 0.1 mag, opravdu slabé hvězdy byly arbitrárně zapsány s magnitudou 9.5 [41].

Pozice byly klíčovější než jasnosti v rámci pozorování. Pozorovalo se i při Měsíci či částečně zatažených nocích. I metoda zápisu magnitud se měnila. Základem byl Besselův postup, kde na první pohled nejslabší hvězda v dalekohledu je deváté magnitudy. Ty, co se objeví po delším zkoumání, mají magnitudu 9.1 u Bessela, respektive 9.5 u Argelanderova. Část pozorování byla provedena v celých magnitudách, popřípadě v polovinách magnitud. Asi polovina všech záznamů je v šesti diskretních krocích a zbytek pozorování je zapsán v desetínách magnitudy. V těch pak jsou jasnosti uvedeny v *Bonner Durchmusterung*. Pro každou hvězdu byla provedena tři pozorování, dohromady tvořící úctyhodný milion měření. Přesnost určení jasnosti byla  $\pm 0.24$  mag u zenitu a o něco nižší níže [28].

### 4.3.3 Další dílo

William Herschel používal metody kroků k určení jasnosti hvězd. Argelander ovšem dospěl k téže metodě, nezávisle na druhém astronomovi. Nazval ji *Stufenschätzungsmethode*. Místo sady znaků však používal číselnou stupnici. Jeden krok definoval takto:

„*Pokud se dvě hvězdy zdají na první pohled stejně jasné, ale po dlouhém porovnávání mezi **a** a **b** a zpět je **a** zjevně jasnější, pak je **a** o krok jasnější než **b** a má notace pro tento případ je **a1b**. Pokud je však jasnější **b**, pak píše **b1a**, aby jasnější z hvězd byla vždy před číslem a slabší za ním.*“ (Přeloženo z [28])

Argelander byl také prvním astronomem, kdo detailně pozoroval proměnné hvězdy. Před ním bylo známo jen málo takových. Argelander zavedl nomenklaturu, používající velká písmena latinky od R do Z pro ty hvězdy, které ještě neměly jméno v rámci souhvězdí — odlišily se tak od Bayerova systému řeckých písmen pro „normální“ hvězdy [41].

## 5. První fotometry

Po dlouhá století bylo lidské oko se všemi svými výhodami i nevýhodami jediným pozorovacím nástrojem. Na začátku sedmnáctého století mu pomohl dalekohled. I tak bylo oko stále finálním detektorem, jen pro o něco jasnější a větší obraz. Pokusy o přesnější určování jasností hvězd samozřejmě v sobě obsahovaly i přístroje, které měly za cíl zjednodušit porovnávání často od sebe velmi vzdálených objektů, popřípadě pomoci s porovnáním objektů, jejichž jasnost se od sebe značně liší.

Lidské oko snáze určí stejnou jasnost dvou hvězd, než odhadne rozdíl jasnosti. Použitím clon či barevných skel se už dříve astronomové pokoušeli srovnat světlo dvou hvězd na stejnou úroveň. Tyto první pokusy prováděli mimo jiné Huygens a Celsius. Druhý z těchto dvou první takový (extinkční) fotometr sestrojil. Do tubusu dalekohledu vkládal stejně tlustá skla, kde každé z nich odpovídalo zeslabení o polovinu magnitudy. Po zmizení hvězdy se dala takto určit její jasnost. Dalšími fotometrickými experimenty se zabývali William Wollaston, Alexander von Humboldt a oba Herschelové [44]. Ovšem až v polovině devatenáctého století došlo k průlomům ve výrobě takového fotometru, který by měl nějaké praktické využití. Používání fotometrů však nemělo dlouhého trvání. O půl století později fotometry nahradila fotografie, respektive tehdy fotografické desky.

Výraznými postavami ve výrobě fotometrů byli Steinheil, Zöllner a Pickering [4].

### 5.1 Klínový fotometr

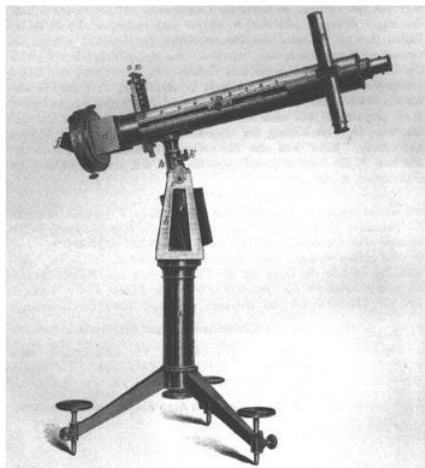
Klínové fotometry jsou kontinuální podobou extinkčního fotometru, jako používal Celsius. Do dalekohledu je vsouván skleněný klín, který stíní přicházející světlo tím víc, čím tlustší vrstva je uvnitř. Za předpokladu, že je ztráta světla konstantní vůči tloušťce a pokud možno nezávislá na barvě hvězdy, lze z míry zasunutí určit jasnost sledovaného zdroje. Pro jasnější hvězdu je třeba klín více zasunout, aby zmizela. Nejvýznamějším astronomem, používajícím klínový fotometr, byl Charles Pritchard (1808 - 1893) na Oxfordské univerzitě. Popis svého přístroje uveřejnil roku 1882. Klín byl umístěn mezi okulárem malého refraktoru a okem pozorovatele. Byl asi 16.5 cm dlouhý, jeho lineární koeficient byl cca 0.75 mag na centimetr a použit byl na desetimetrovém refraktoru [44].

### 5.2 Steinheilův fotometr

Porovnávací fotometry jsou většinou přesnější, než extinkční fotometry. Carl von Steinheil (1801 - 1870) sestrojil poprvé takovýto přístroj v roce 1836. Jednalo se o malý refraktor s rozpůlenou čočkou objektivu. Každá polovina se mohla pohybovat skrze tubus samostatně. Do každé z nich bylo hranoly svedeno světlo od dvou různých hvězd. Pohybem čoček se vyrovnal jejich jas v okuláru. Jejich vzájemná jasnost pak odpovídala rozdílu mezi polohami polovičních čoček.

Nevýhodou Steinheilova přístroje byla jeho limitace na objekty pozorovatelné pouhým okem. Sám Steinheil napozoroval jen asi 30 hvězd [44]. Roku 1844 s tímto

fotometrem začal pozorovat Ludwig Seidel. O dva roky později vydal katalog o 208 hvězdách severní polokoule, do 3.3 mag. Jeho přínosem k fotometrii byla kontrola atmosférické extinkce. Jasnosti hvězd, které pozoroval, opravoval na jejich jasnost v zenitu. Položil tak základ metody, nazývané „absolutní fotometrie“. Seidelova přesnost byla na svou dobu úctyhodná: Zinner odhaduje jeho přesnost na  $\pm 0.05$  mag [4].



Obrázek 5.1: Steinheilův fotometr [Obr. 16]

### 5.3 Zöllnerův fotometr

V roce 1857 nabídla Císařská akademie věd ve Vídni peněžitou odměnu tomu, komu se podaří posunout astronomickou fotometrii kupředu (Nebyla jedinou takovou institucí, která takovouto cenu v devatenáctém století vypsalala.).

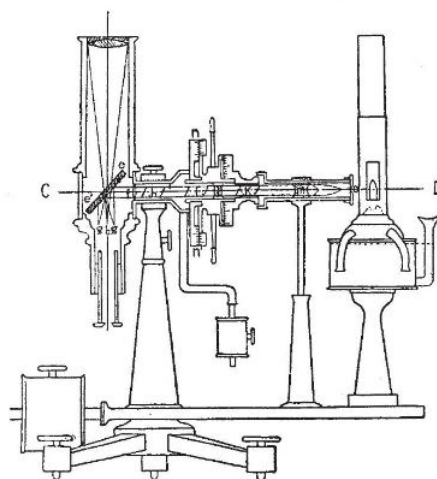
Friedrich Zöllner (1834 - 1882) v té době studoval v Basileji. Jako svůj příspěvek, se kterým se ucházel o odměnu, představil nový fotometr společně s 226 měřeními. Kvůli malému počtu měření cenu nezískal, ovšem jeho článek *Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels* vyšel roku 1861 i přes Zöllnerův neúspěch [44].

I přes neúspěch v soutěži se jednalo o jeden z nejpřesnějších fotometrů konce devatenáctého století. Skládal se z kerosenové lampy, jejíž světlo procházelo dvěma Nikolovými hranoly, druhý z nich byl otáčivý. Po průchodu bylo světlo umělé hvězdy vedeno do dalekohledu, odražením od skla pod  $45^\circ$  do jeho osy. Tím se dal umělý zdroj přímo porovnat s pozorovanou hvězdou, nyní se nacházejíce kousek vedle sebe. Vložením třetího hranolu a vrstvy křemene před lampu šlo provést korekci na barvu hvězdy. Zöllner poznamenal, že se tohoto dá využít jako kolorimetru. Málokdo však této možnosti využil.

Lampa, vytvářející umělou hvězdu, samozřejmě musí být jasnější než pozorované objekty — je to lampa, co je otáčením hranolu zeslabeno, nikoli hvězda. Dle natočení pak lze určit jasnost pozorované hvězdy.

Přístroj byl později vyráběn firmou Ausfeld z Gothy, která jej dodala do několika hvězdáren, mimo jiné v Bonnu, Postupimi, Harvardu či Moskvě [44].





Obrázek 5.2: Schéma Zöllnerova fotometru [Obr. 17]

## 5.4 Pickeringův fotometr

Meridiánový fotometr zkonstruoval Edward Pickering v roce 1879. Dva tyto přístroje byly na Harvardu postaveny a využity k projektům Harvardská fotometrie a Revidovaná harvardská fotometrie z let 1884 a 1908.

V původní konfiguraci se skládal z horizontálního dalekohledu se dvěma podobnými objektivy se čtyřcentimetrovými aperturami. Byl upevněn ve východozápadním směru. Dvnitř světlo vstupovalo skrze otočné hranoly, jeden pro každý objektiv. Jeden z nich vždy mířil na Polárku, ten druhý na měřenou hvězdu v blízkosti meridiánu. V blízkosti ohniska obou objektivů světlo procházelo skrze islandský vápenec (kalcit). Díky němu každá z hvězd vytvořila dva obrazy v ortogonálních směrech rovinné polarizace. Z jednoho objektivu byly použity pouze řádné paprsky a z toho druhého ty mimořádné. Oba obrazy se pak složily v jednom okuláru, opatřeném Nikolovým hranolem. Jeho otáčením se docílilo stejné jasnosti obou zobrazených hvězd. Ze čtyř možných kombinací pro každou dvojici se pak určil poměr jasností — referenční hvězdy a té měřené — za pomoci Malusova zákona pro průchod polarizovaného světla polarizačním filtrem.

Pozdější podoby Pickeringova fotometru měly větší objektiv — místo čtyřcentimetrového deseticentimetrový. Navíc používal zrcadla místo hranolů k vedení světla do čoček. Obě tyto varianty posloužily pro většinu Harvardských pozorování. V roce 1898 byl ovšem postaven třiceticentimetrový fotometr, schopný pozorovat hvězdy až do třinácté magnitudy. Na rozdíl od svých menších bratranců však nepoužíval standardní, ale umělou hvězdu. Tlumená byla pouze ona, nikoli ta pozorovaná, což umožnilo pozorování i těch nejslabších možných hvězd dosažitelných v tomto fotometru [44].

## 5.5 Fotometrické katalogy

### 5.5.1 Harvardská fotometrie

V originálu *Harvard Photometry*, jednalo se o první velký projekt Edwarda Pickeringa. Cílem bylo napozorovat všechny pouhým okem viditelné hvězdy do  $-30^\circ$  deklinace od severního pólu. Byl použit čtyřcentimetrový meridiánový fotometr. Celkem bylo pozorováno 4260 hvězd. Jako referenční hvězda byla zvolena Polárka. Pozorování prováděl převážně Pickering, za pomoci Olivera Wendella a Arthura Searla, mezi lety 1879 a 1882.

Jasnost Polárky byla původně uvažována jako 2.0 mag, později upravena na 2.15 mag v zenitu, po odečtení atmosférické extinkce. Vybraná jasnost měla za cíl sjednotit výsledky s Argelanderovými odhady. Kromě Polárky však bylo použito sto dalších cirkumpolárních (obtočnových) hvězd jako sekundární standardy — jako kontrola stálé jasnosti Polárky.

Atmosférická extinkce byla reprezentována extinkční konstantou 0.25 mag na jednotku vzdušné masy. Pro určení této konstanty byly použity cirkumpolární hvězdy v horní a dolní kulminaci.

Asi nejvýznamnější inovací bylo použití Pogsonovy definice magnitudy. Jeho škála se následně stala standardem na Harvardu a poté i ve světě.

Přesnost Pickeringova měření byla dle Zinnera  $2 \pm 0.08$  mag pro jasné hvězdy (do čtvrté magnitudy) a  $\pm 0.10$  mag pro ty slabší. Přesnost tedy nebyla o mnoho vyšší, než ta pouhým okem, ovšem díky použitému fotometru byla eliminována systematická chyba, způsobená subjektivním vnímáním pozorovatele [44].

### 5.5.2 *Potsdamer Durchmusterung*

V Postupimi prováděl fotometrická pozorování Gustav Müller (1851 - 1925) ve spolupráci s Paulem Kempfem (1856 - 1920). První pokusy prováděl Müller už v roce 1877, ovšem než přešel z pozorování planet a asteroidů ke hvězdám, Pickering už vydal svoji Harvardskou fotometrii, stejně jako Pritchard svůj katalog *Uranometria Nova Oxoniensis* sestavený s pomocí klínového fotometru.

V porovnání s těmito dvěma díly byla práce Müllera a Kempfa přesnější a obsáhlejší. Zpracovali 14 199 hvězd z *Bonner Durchmusterung* ve čtyřech dílech. Ty vyšly v letech 1894, 1899, 1903 a 1906. Ovšem v době vydání prvního dílu už Pickering zveřejnil měření 21 000 hvězd z *Bonner Durchmusterung*. Přesnost německých astronomů tak bledla ve srovnání s množstvím dat, která z Harvardu vycházela.

Místo standardní hvězdy, kterou pro Pickeringa i Pritcharda byla Polárka, vybrali si Müller a Kempf sadu 144 hvězd z *Bonner Durchmusterung*. Ty ležely mezi magnitudami 4.5 a 7.3, průměr jejich jasností pak měl v obou katalogích, Bonnském i Postupimském, být 6.0. Díky této kalibraci byly hodnoty *Potsdamer Durchmusterung* slabší než ty harvardské v průměru o 0.17 mag.

### 5.5.3 Revidovaná harvardská fotometrie

Pro slabší hvězdy než sedmé magnitudy byl potřeba větší fotometr: v roce 1882 byl na Harvardu vyroben deseticentimetrový, schopný dosáhnout deváté až

desáté magnitudy. Kvůli nízkému jasů pozorovaných hvězd byla vybrána nová referenční hvězda,  $\lambda$  UMi, červená hvězda o 6.4 mag.

V roce 1889 odjel Solon Bailey do Peru se stejným meridiánovým fotometrem, s cílem rozšířit pozorování na jižní oblohu. Roku 1891 pak začal Pickering měřit na Harvardu: všechny hvězdy jasnější 6.2 mag nad  $-30^\circ$  deklinace a druhý program pro hvězdy nad 7.5 mag do  $-40^\circ$  deklinace. Pickering pozoroval až do roku 1898, kdy Bailey znovu odjel do Peru i s fotometrem. Do té doby provedl Pickering skoro půl milionu měření pro skoro 30 000 hvězd. Během následujícího roku dokončil v Peru Bailey pozorování hvězd do sedmé magnitudy.

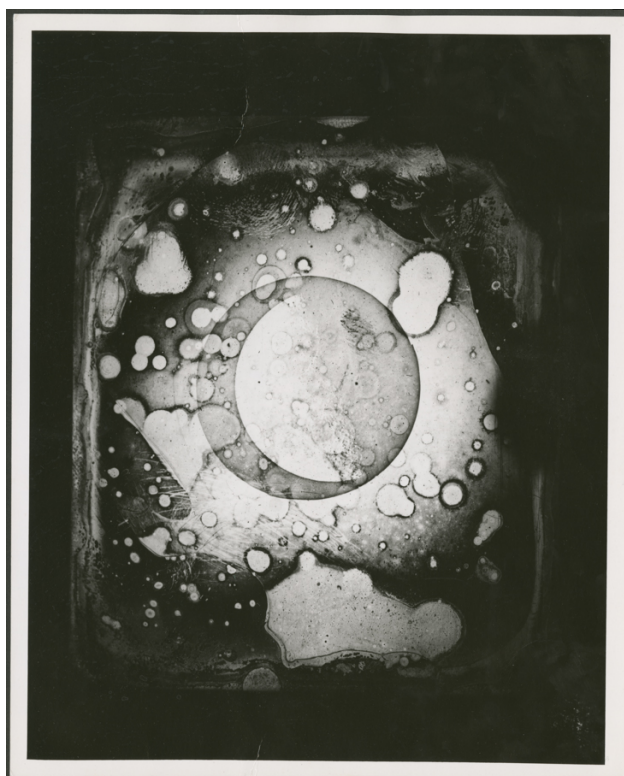
Konečně roku 1908 vyšla Revidovaná harvardská fotometrie (ang. *Revised Harvard Photometry*). Obsahovala 9110 hvězd přes magnitudu 6.5. Uváděná přesnost byla  $\pm 0.07$  mag. Ve stejném roce později vyšel i katalog z pozorování i těch slabších hvězd, jako *A Catalogue of 36 682 Stars* [44].

## 6. Fotografická fotometrie

Roku 1839 byl Francoisem Aragem světu představen nový vynález Louise Daguerra – první forma fotografie, nyní známá, dle svého autora, jako daguerrotyp. Arago viděl přínos tohoto vynálezu pro astronomii a přesvědčil Daguerra, aby se pokusil zaznamenat Měsíc.

První podoba procesu využívala měděné desky, pokryté stříbrným filmem, který byl vystaven působení jódu. Dopadem světla se část jodidu stříbrného vrátila zpět do formy stříbra. Po kontaktu se rtutí vznikl na těchto místech bílý amalgám. Zbytek jodidu byl odstraněn ustalovačem (thiosíranem sodným). Původně se používala běžná sůl, ale brzy se přešlo k thiosíranu. Jedním z prvních uživatelů tohoto ustalovače byl John Herschel. Ten byl také první, kdo pojmenoval novou technologii „fotografií“.

Arago se stal hnacím motorem využití fotografie v astronomii. Roku 1840 vyfotografoval John Draper Měsíc. Po dvacetiminutové expozici získal první úspěšný snímek na poli astronomie (viz 6.1) [28].



Obrázek 6.1: První fotografie Měsíce Johnem Draperem 23. března 1840 [Obr. 18]

V Paříži zatím přesvědčil Arago H. Fizeaua a L. Foucaulta, aby se pokusili o astronomickou fotometrii. Srovnávali jasnost Slunce se světlem z obloukové lampy. První z článků z tohoto pokusu jasně využil takzvaného recipročního zákona, podle kterého je fotografická stopa závislá na intenzitě a délce expozice. Platnost tohoto zákona byla ověřena pro poměr desíti, tj. stejný efekt pro desetkrát delší expozici při desetina osvětlení. Přestával však platit pro poměry

šedesát ku jedné. I přesto se reciproční zákon stal všeobecně uznávaným ve fotografické fotometrii po celé devatenácté století [28].

Na fotografování hvězd se muselo počkat do roku 1850. Vzhledem k nízké jasnosti stálic v porovnání se Sluncem či Měsícem bylo třeba dlouhých expozic na velkých dalekohledech, což navíc vyžadovalo velmi přesný hodinový stroj. V roce 1847 byli na Harvardskou observatoř pozváni John A. Whipple a J. Wallace Black, aby se pokusili o vyfotografování hvězd za pomoci 38-centimetrového refraktoru. Až o tři roky později se Whippleovi společně s Georgem Bondem podařilo vytvořit první daguerrotyp hvězdy, konkrétně Vegy.

Kollodiový proces umožnil rychlejší fotografování. Ačkoli mokrá deska nebyla nejvhodnější k astronomickému použití, výhoda rychlosti a možnosti vícero tisků vedla k využití tohoto procesu pro fotografie hvězd. Na Harvardu se Whipplemu a Bondovi podařilo za pomoci této nové techniky vyfotit Alcor a Mizar ve Velké Medvědi. Během roku 1857 fotografovali tuto vizuální dvojhvězdu ještě mnohokrát. Bondovou smrtí v roce 1865 naneštěstí skončily tyto první pokusy v oblasti hvězdářské fotografie.

Konečně roku 1871 mohly být kollodiové desky nahrazeny skleněnými s bromidovou emulzí. Benjamin Gould, průkopník astrofotografie na jižní polokouli, je využil k dokončení svých snímků hvězdokup. Na severní polokouli je použil syn Johna Drapera, Henry, k pořízení fotografie mlhoviny v Orionu (roky 1880 - 1881). K tomu tvrdil, že na snímku jsou viditelné hvězdy do magnitudy 14.7 dle Pogsonovy stupnice. Nejspíše se jednalo o vizuální magnitudu, vzatou z Pickeringovy fotometrické práce. Draper také poznamenal, že „velikost jednotlivých hvězd na snímku napovídá jejich magnitudu, byť je třeba započítat korekci na barvu hvězd“.

V osmdesátých letech devatenáctého století se technika fotografie plně rozmohla. Roku 1883 začal s fotometrií hvězd reverend T. E. Espin (1858 - 1934). Nedaleko Liverpoolu začal měřit za pomoci 11.5-centimetrové čočky. Následujícího roku vypracoval metodu určení magnitud hvězd dle hvězdných stop zanechaných na snímku bez podpory hodinového stroje. Jako referenci použil pro každý snímek dvě a více hvězd z Argelanderových měření. Roku 1884 vydal katalog o 500 hvězdách, největší svého druhu této doby. Podobný způsob určování později použil i Edward Pickering.

Nebyla to však jediná metoda. Jules Jansen (1824 - 1907) navrhl roku 1881 umístit fotografickou desku kus mimo ohnisko, čímž docílil rozšíření obrazů hvězd do kruhů s různými hustotami. Podle hustoty obrazu pak šlo určit její jasnost [28].

## 6.1 Edward Pickering

Edward Charles Pickering se narodil v Bostonu, 19. července 1846. Roku 1865 dokončil studium na Lawrence Scientific School a stal se tam učitelem matematiky. O dva roky později se stal profesorem fyziky. Pomohl založit laboratoř Rogers Laboratory of Physics na MIT (Massachusetts Institute of Technology). Na podzim roku 1876 dostal pozvání stát se ředitelem Harvard College Observatory, které přijal. Do funkce nastoupil v únoru 1877.

Na rozdíl od předchozích ředitelů byl spíše fyzikem než astronomem. Možná i díky tomu se soustředil na sbírání dat, nechávaje jejich interpretaci na budoucí

generace. Fotometrii si zvolil jako svoje hlavní pole zájmu hned po nástupu do funkce. Nechal vyrobit dříve zmíněný meridiánový fotometr, s nímž provedl na dva miliony pozorování. Sestavil škálu fotografických magnitud, o kterých se později ukázalo, že se znalostí spektrálních typů hvězd se dají převést na vizuální magnitudy. Zavedl systém klasifikace proměnných hvězd, které také sám pozoroval. Taktéž za sebou zanechal obrovský archiv skleněných fotografických desek se snímky oblohy, čítající více než čtvrt milionu kusů, dohromady vážící 120 tun. V roce 1898 pomohl založit Americkou astronomickou společnost (*American Astronomical Society*, dříve *Astronomical and Astrophysical Society*). Stejně tak stál na počátku Asociace pozorovatelů proměnných hvězd (*American Association of Variable Star Observers*).

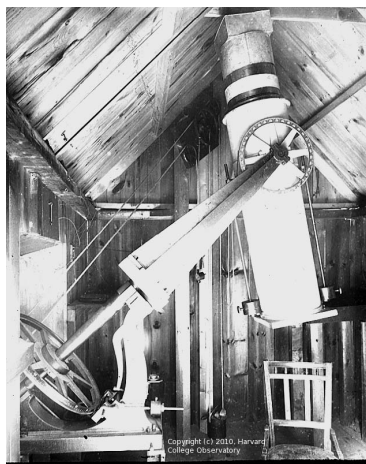
V roce 1874 se oženil s Lizzie Wadsworth Sparks, dcerou bývalého prezidenta Harvardské university.

Nezabýval se jen astronomií, ale i jinými vědami. Také byl milovníkem horolezectví a hudby. Ředitelem Harvardské observatoře byl čtyřicet dva let, až do své smrti roku 1919 [45].

### 6.1.1 Pickeringova fotografická fotometrie

Edward Pickering začal pracovat s fotografií roku 1882, společně se svým mladším bratrem Williamem (1858 - 1938). Ten se v té době zabýval suchými fotografickými deskami na MIT. Na rozdíl od George Bonda, který porovnával průměry bodupodobných obrazů hvězd, Pickering zvolil protáhlé obrazy hvězd, vzniklé na snímku pořízeném bez spuštěného hodinového stroje.

Roku 1885 získal dvacetimetrový Bache Telescope, viz 6.1. Fotil na desky, pokrývající  $10^\circ \times 12^\circ$ , s dobrým obrazem na středních  $5^\circ \times 5^\circ$  [28].



Obrázek 6.2: Bache Telescope [Obr. 19]

Jako standardní hvězdu si zvolil jednu jedinou (BD  $+85^\circ 226$ ,  $m_{\text{vis}} = 9.5$ ), kterou zaznamenal v šesti různých clonách, postupně zeslabujících světlo, každá o jednu magnitudu. Navíc prováděl pro každou desku korekci na deklinaci  $2.5 \log \cos \delta$ . Tato korekce byla založena na faktu, že hvězdy v blízkosti pólu vytvářejí kratší stopy, a také za předpokladu recipročního zákona. Zpětně se ukázalo, že korekce byla až dvojnásobně větší, než bylo nutné.

V roce 1890 vydal práci obsahující 1009 hvězd ve stupňovém okolí pólu, 1131 jasnějších hvězd v okolí rovníku a 420 hvězd v Plejádách. V případě hvězdokupy však byla využita metoda porovnávání průměrů.

Pickering odhadoval, že jeho přesnost se pohybovala okolo  $\pm 0.12$  mag. Kalibrací magnitud byl požadavek, aby vizuální a fotografické magnitudy byly v průměru shodné. Už před ním viděli jiní astronomové, že některé hvězdy jsou na fotografiích neobvykle jasné, jiné naopak chybí. Pro Pickeringa se jednalo o způsob, jak určit barvy hvězd. Tento princip byl plně využit v *Draper Memorial Catalogue of Stellar Spectra*, kde byly uvedeny i spektrální typy hvězd a zmíněna použitá vlnová délka, ve které bylo měřeno. Katalog měřený na 432 nm obsahoval 10 351 hvězd [28].

William Pickering se přesunul na Harvardskou observatoř roku 1887. Pokračoval ve svém výzkumu fotografie, což ho mimo jiné vedlo ke zpochybnění recipročního zákona<sup>1</sup>. Poradil proto svému bratrovi, aby místo velikosti obrazu používal pro určení magnitud fotografickou škálu, podobnou jako používal William Herschel pro vizuální fotometrii. Také navrhl změnit určení kalibrace magnitudy. Místo shodné průměrné jasnosti pro všechny hvězdy navrhl použít pouze hvězdy spektrální třídy A. Tím byla z většiny eliminována závislost určené jasnosti na barvě objektu [28].

## 6.2 *Cape Photographic Durchmusterung*

Jedním z velkých projektů této doby byl katalog *Cape Photographic Durchmusterung*, započatý Davidem Gillem (1843 - 1914) v Kapském městě. Roku 1885 získal grant od Královské společnosti, fotografickou čočku a asistenta Raye Woodse a už v dubnu začal pozorování, či spíše fotografování. Používal  $6^\circ \times 6^\circ$  desky, kterými pokryl oblohu mezi  $-18^\circ$  a jižním pólem. Každou z 613 oblastí fotografoval nejméně dvakrát. Nejdříve mu každá expozice trvala hodinu, čímž získával obrazy hvězd až do 9.5 magnitudy, ale jakmile získal citlivější desky, doby expozic spadly až na půlhodinu. Za šest a půl roku, v říjnu 1887, byl hotov.

Jeho grant však nestačil na dokončení práce. Exponované desky bylo ještě třeba vyhodnotit. Gillovi se ozval Jacobus Kapteyn (1851 - 1922), ředitel Astronomické laboratoře na Groningenské univerzitě. Nabídl se, že on a jeho asistenti práci dokončí, používajíce jejich vlastní finanční možnosti. Tak se i stalo a Kapteyn se pustil do práce, o které si myslel, že mu zabere pět až šest let. Nakonec na ní strávil let třináct. Důvodem byla nečekaná hustota hvězd na fotografované části jižní oblohy, skoro dvojnásobná v porovnání s Argelanderovým *Bonner Durchmusterung*.

Vlastně bylo štěstím, že se tohoto zdlouhavého díla Kapteyn ujmul. Gillovi nebyl roku 1887 obnoven grant — projekt *Carte du Ciel* se zdál slibnější. Ostatně

---

<sup>1</sup>Roku 1900 vydal Karl Schwarzschild (1873 - 1916) dva články na základě své fotometrické práce na hvězdárně von Kuffnera. Jeho výsledky ukazovaly na selhání recipročního zákona. Ten Schwarzschild upravil do tvaru  $I t^p$ , kde  $I$  je intenzita,  $t$  je čas a  $p$  je tzv. Schwarzschildův parametr. Ten se pro klasický reciproční zákon má rovnat jedné, Schwarzschildovi však vycházel okolo 0.85. Další studii recipročního zákona provedl roku 1913 Erich Kron (1881 - 1917), který zjistil, že reciproční zákon selhává i při vysokých intenzitách [28].

i Gill sám se jej snažil protlačit. Samotné fotografování v Kapském městě si Gill financoval sám. Zpracování však bylo nad jeho možnosti.

Polohy určoval Kapteyn v ohniskové vzdálenosti umístěným teodolitem. Pro určení magnitud pak použil Bondovy metody porovnávání průměrů obrazů. Převedení na magnitudy prováděl za pomoci empirického vztahu  $m = B/(\text{diam.} + C)$ , kde konstanty  $B$  a  $C$  byly určeny pro každou desku zvlášť dle vizuálních magnitud asi stovky hvězd. Jako zdroj těchto jasností použil Gouldův *Zone Catalogue*. Při zpracovávání také zjistil, že průměrná barva hvězd se v závislosti na galaktické šířce mění. Pokusil se o nějakou formu korekce, ale nakonec došel k závěru, že přesnost fotografických magnitud v tomto katalogu je pouze na úrovni prvního přiblížení.

I přes četné problémy s přesností je *Cape Photographic Durchmusterung* jedním z největších děl rané astronomické fotografické fotometrie, navíc dokončený za pouhých patnáct let. Pouhých ve srovnání s největším projektem tohoto druhu v devatenáctém století — *Carte du Ciel* [28].

### 6.3 *Carte du Ciel*

V červnu 1884 začali na Pařížské observatoři bratři Paul a Prosper Henryovi, (1848 - 1905) a (1849 - 1903), experimentovat s šestnácticentimetrovým achromatickým objektivem. Řediteli hvězdárny, admirálu Ernestu Mouchezovi (1821 - 1892), se jejich snímky natolik líbily, že přijal jejich návrh na zbudování 33-centimetrového astrografu s ohniskovou délkou 343 cm (viz 6.3). Funkční byl v dubnu 1885 a s hodinovou expozicí byl schopen zaznamenat hvězdy patnácté magnitudy. Jejich cílem bylo vytvoření mapy a katalogu slabých hvězd v okolí ekliptiky. S tímto dalekohledem se jim také podařilo objevit mlhovinu v okolí hvězdy Maïa v Plejádách [28].

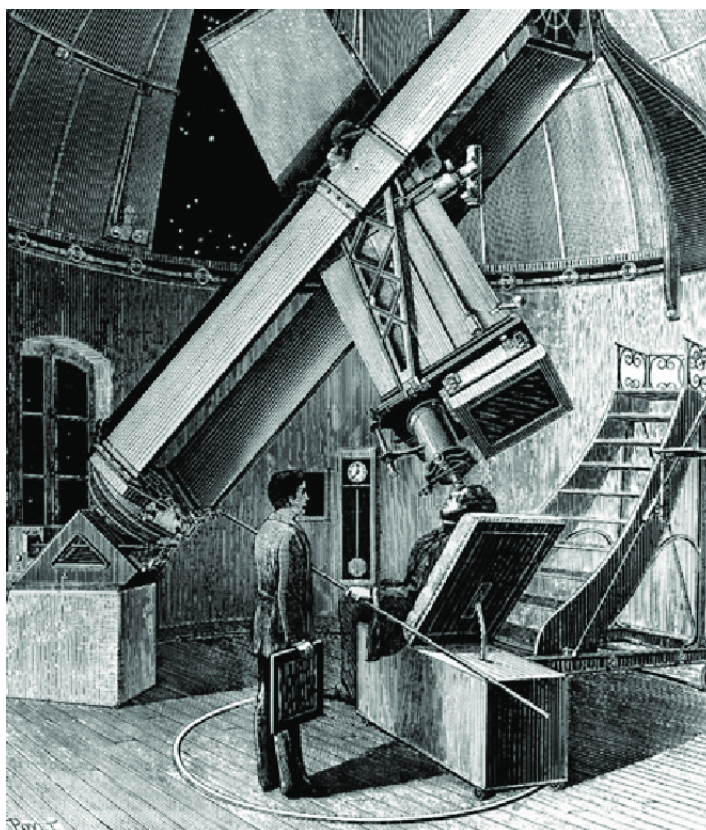
Schopnosti bratrů Henryových zaujaly Davida Gilla, který navrhl Mouchezovi mezinárodní projekt mapování celé oblohy. Mouchez souhlasil, načež Gill v červnu 1886 navrhl svolat mezinárodní kongres v Paříži. Ten se uskutečnil v dubnu 1887. Zúčastnilo se padesát šest astronomů z osmnácti zemí. Ovšem z nich jen tři byli ze Spojených států a čtyři z jižní polokoule. Prezidentem kongresu se stal Otto Struve (1819 - 1905) z Pulkovské hvězdárny.

Domluvilo se vytvoření mapy hvězdné oblohy do čtrnácté magnitudy, *Carte du Ciel*, a katalogu do jedenácté, *Astrographic Catalogue*. Všechny kusy mapy měly být provedeny za pomoci 33-centimetrových astrografů, stejných jako používali bratři Henryovi. Každá deska pokryla  $2^\circ \times 2^\circ$ . Celkem jich mělo být 44 108. Projektu se přislíbilo zúčastnit osmnáct hvězdáren, z toho šest na jižní obloze. Každé byla přiřazena výseč oblohy, kde na každou vycházelo okolo 1200 desek.

Kdo se však nezúčastnil, byl Edward Pickering z Harvardu, ani jiná severoamerická observatoř. Sice nabídl Mouchezovi své rady, ale jinak se *Carte du Ciel* vyhnul. Harvardský astronom D. Norman v roce 1938 dokonce prohlásil, že tato neúčast vedla k velkým úspěchům amerických hvězdáren na poli astrofyziky v následujících letech.

Aby toho nebylo málo, Pickering roku 1889 získal 50 000 dolarů od mecenášky Catherine Bruce (1816 - 1900), které byly vynaloženy na stavbu šedesáticentimetrového dalekohledu, se kterým započal projekt *Chart of the Heavens*.





Obrázek 6.3: 33-centimetrový astrograf bratří Henryů [Obr. 20]

To se samozřejmě astronomům na hvězdárnách účastnících se projektu *Carte du Ciel* nelíbilo. Stejně však museli Pickeringovy práce využít. Určování fotografických magnitud řešili na Harvardu za pomoci standardu Severní polární sekvence, stejně jako její přesun do jiných částí oblohy. Tento systém přejal i *Astrographic Catalogue* v roce 1913 [28].

Projekt byl však předurčen k neúspěchu. Nejen kvůli finančním problémům pět z participujících hvězdáren vzdalo svou účast ještě před koncem. *Astrographic Catalogue* byl dokončen roku 1962, o mnoho později, než David Gill na začátku předpovídal; 75 let oproti předpovídaným pětadvaceti. I tak se jednalo o neúplnou verzi, vydanou spíše ze setrvačnosti a neochoty vzdát se vykonané práce. Každá z hvězdáren dodala své výsledky v různé úrovni kvality či formy. *Carte du Ciel* nebyl dokončen nikdy — čtyři z hvězdáren nepořídily všechny potřebné snímky a asi jen polovina z těch hotových byla okopírována a rozdistribuována.

Důvodů k neúspěchu bylo více. Během šestého kongresu už byly všechny hlavní postavy projektu — Mouchez, Struve, oba Henryové — po smrti, jen Gill byl stále ještě naživu, ale na odpočinku. Některé z hvězdáren nikdy nezískaly dostatek financí, z toho tři na jižní obloze, která už tak byla špatně pokrytá. Hlavním technickým problémem se stala stále ještě nedostatečná znalost určování fotografických magnitud. Z mnoha problémů, které se během let objevily, jich jen pár vyřešil Pickering, naneštěstí však článek o nich vydal až po prvním kongresu.

Poslední ránu pak zasadila první světová válka. Projekt byl přerušen a po jejím skončení se už k němu nikdo moc neměl. Největším odkazem *Carte du Ciel* tak bylo masivní rozšíření fotografické fotometrie a její studium [28].

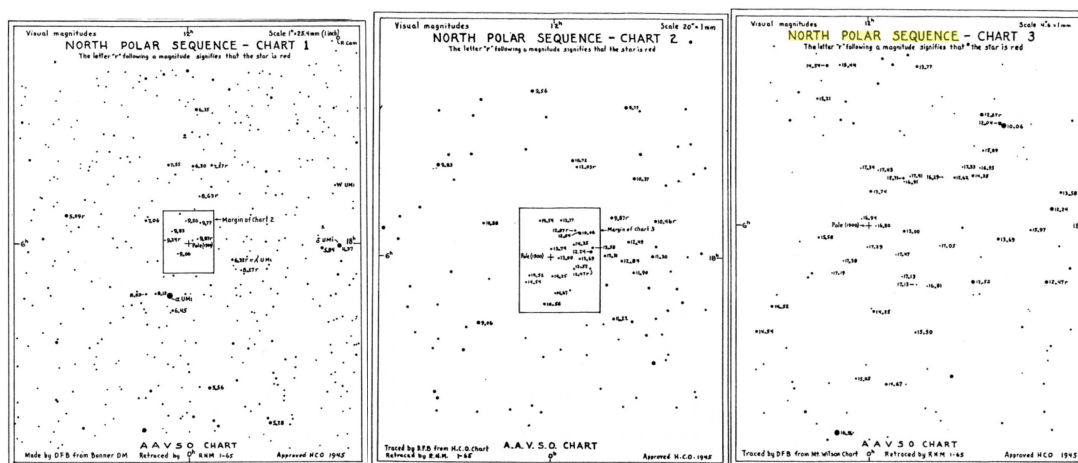
## 6.4 Severní polární sekvence

Severní polární sekvence (ang. *North Polar Sequence*) se stala standardem fotografické fotometrie po celou první polovinu dvacátého století. Její první podobu vytvořil Edward Pickering v roce 1907. Cílem bylo vytvořit sadu hvězd, které mohly sloužit k určování magnitud hvězd na celé obloze prostým fotografováním obou cílových oblastí na stejnou desku, když se nachází ve stejné výšce nad obzorem a se stejnou dobou expozice. Protože okolí severního pólu je viditelné na celé severní polokouli, stalo se celkem logickou volbou pro takovou oblast. První sadu tvořilo deset hvězd mezi magnitudami 6.4 a 13.3. Ostatně se jednalo o stejnou sadu, kterou Pickering používal jako standardy pro vizuální fotometrii.

Pro jižní oblohu byly plánovány sekundární standardy v každé z takzvaných Harvardských standardních oblastí.

Pickering pro tvorbu Severní polární sekvence zvolil Henriettu Leavitt (1868 - 1921), jednu ze svých asistentek, která se tímto stala hlavou Oddělení fotografické hvězdné fotometrie na Harvardu. Dva roky po začátku projektu, v roce 1909 už Leavittová napozorovala pro sekvenci 47 hvězd, jejich jasnosti určené několika různými harvardskými dalekohledy. Datum Pickeringovy zprávy o Severní polární sekvenci koincidovalo s Astrografickým kongresem v Paříži. Ten se zabýval mimo jiné právě sadou standardních hvězd pro určování jasností v *Astrographic Catalogue*. Byla ustanovena komise, již se projednou Pickering zúčastnil, která se tímto měla zabývat. Mezitím měla být využívána Severní polární sekvence.

Práce Leavittové na Severní polární sekvenci trvala vlastně až do její smrti v roce 1921. V roce 1910 už obsahovala 96 hvězd, s magnitudami mezi 2.7 a 21. Měření byla prováděna jedenácti dalekohledy, největším z nich 150-centimetrový na Mt. Wilson. Všechny hvězdy jasnější než 11.3 byly spektrálního typu A, s jednou výjimkou, ty slabší byly většinou považovány za bílé. Navíc byla přidána sekvence dvanácti červených hvězd do magnitudy 13.3 (spektrální typy G, K, M). Všechny standardní hvězdy se nacházely do vzdálenosti 90 úhlových minut od pólu s výjimkou pár jasnějších objektů [28].



Obrázek 6.4: Severní polární sekvence na mapě od AAVSO<sup>2</sup> [Obr. 21]

<sup>2</sup>American Association of Variable Star Observers

Pro určení absolutní kalibrace škály fotografických magnitud bylo použito několik značně odlišných metod, mimo jiné:

- metoda Edwarda Kinga (1861 - 1931) rozostřených obrazů,
- polarizace za pomoci islandského vápence, která tvořila čtveřici obrazů, jejichž relativní jasnost závisela na natočení polarizátorů,
- zeslabování světla za pomoci různých filtrů — mřížky, děravé cínové krytky, kouřového skla či fotografického filmu,
- zeslabování jasu pomocí clony zakrývající část apertury dalekohledu,
- použití pomocného hranolu, tvořícího slabé sekundární obrazy, či difrakční mřížky, taktéž tvořící slabé sekundární (difrakční) obrazy.

Kalibrace Severní polární sekvence byla provedena, jako obvykle, porovnáním s nějakým vizuálním katalogem. V tomto případě mělo platit, že fotografické a vizuální magnitudy pro hvězdy mezi 5.5 a 6.5 typu A0 se měly rovnat (pro harvardská vizuální měření). Navíc byla použita Pogsonova škála.

Tímto se Pickeringův systém určování magnitud stal i základem pro projekt *Carte du Ciel*, kterého se jinak odmítal účastnit. V roce 1913 pak byl stejnou Astrografickou komisí, která se zavedením standardů zabývala, zaveden Mezinárodní systém fotografických magnitud. Také byl oficiálně uznán termín „barevný index“, jako rozdíl ( $m_{pg} - m_{vis}$ ), tedy rozdíl mezi fotografickou a vizuální magnitudou. Jednalo se sice v obou případech jen o oficializaci něčeho, co už v praxi bylo dlouho používáno, ale vedlo to k všeobecnému používání těchto systémů.

### 6.4.1 Frederick Seares

Frederick Seares (1873 - 1964) nastoupil na hvězdárnu na Mt. Wilson v roce 1909. Ještě za života Leavittové kritizoval její měření: pro slabé hvězdy zaznamenal chyby až o jednu magnitudu. Navíc zmiňoval značné rozdíly mezi jednotlivými dalekohledy v oblasti jejich barevné citlivosti. Přesto se stal největším propagátorem Severní polární sekvence po smrti obou jejích autorů.

V roce 1913 vydal článek, ve kterém ukazoval výrazné rozdíly mezi jasnostmi Severní polární sekvence, měřené na Harvardu a na Mt. Wilson. Hlavní rozdíly byly u jasnějších hvězd, kde harvardská měření byla o půl magnitudy slabší. Mezi desátou a patnáctou magnitudou se však shodovaly. Seares určil jako důvod rozdílu různou senzitivitu přístrojů na ultrafialové světlo. Úpravou dat z Harvardu na vlastnosti jeho dalekohledu se mu podařilo rozdíl zmenšit na čtvrt magnitudy. Tuto upravenou sekvenci vydal Pickeringův nástupce, Harlow Shapley (1885 - 1972), roku 1922. Skončil však na šestnácté magnitudě. Pro slabší hvězdy měřením Leavittové nevěřil.

V roce 1915 vydal Seares další článek, ve kterém rozšířil Severní polární sekvenci na 617 hvězd. Pro 329 z nich určil fotovizuální magnitudy s použitím isochromatických desek a žlutého filtru. Z těchto měření se dal určit barevný index těchto hvězd.

Roku 1922 vydal společně s Miltonem Humasonem (1891 - 1972), a za pomoci své asistentky a v budoucnu druhé manželky Mary Joyner, sekvenci 92 hvězd, měřených jak velkým 150-centimetrovým reflektorem, tak 25-centimetrovým refraktorem. Tato sada byla vytvořena z důvodů obav z rozdílů výsledků mezi oběma druhy dalekohledů. Tato sekvence se od té doby stala Mezinárodním systémem fotografických magnitud [28].

# 7. Fotoelektrická fotometrie

Fotobuňky se dají rozdělit do tří kategorií — fotovoltaické, fotokonduktivní a fotoemisní články. V průběhu vývoje se v rámci astronomie použily všechny tři, společně označované jako fotonky či fotočlánky. Toto označení se však používá i pro fotoemisní variantu samu o sobě. Dále jsou tedy tyto tři kategorie rozlišovány, fotonky jsou fotoemisní variantou, ale „fotoelektrická fotometrie“ zahrnuje použití všech tří.

## 7.1 Počátky – fotovoltaické články

Fotovoltaické články byly objeveny Edmondem Becquerelem (1820 - 1891) v roce 1839. Na jejich využití v astronomii se však muselo počkat přes půl století. Roku 1890 začal s fotovoltaikou experimentovat George Minchin (1845 - 1914) — Ir, působící jako profesor matematiky na Royal Indian Engineering College nedaleko Londýna. Jeho model se skládal z hliníkové fotokatody s tenkou vrstvou selenu, anody (platinového vlákna) a acetonem naplněné skleněné nádoby.

V roce 1892 experimentoval v Dublinu v soukromé hvězdárně Williama Moncka (1839 - 1915). Používali dvacetimetrový refraktor. Naneštěstí se Minchin musel vrátit do Anglie před první jasnou nocí. První pozorování oblohy s fotovoltaickým článkem tak provedl Monck sám. Hvězdy sice nenaměřil — článek nebyl dostatečně citlivý — ale podařilo se mu změřit jas Jupiteru, Venuše a Měsíce.

V roce 1894 Minchin vylepšil svůj model. Aceton nahradil oenanthol (destilát ricinového oleje) a článek byl citlivější. Další měření byla provedena na šedesátimetrovém zrcadlovém dalekohledu v Daramona House v Irsku. Naměřena byla konečně i první hvězda. Kromě Venuše a Jupitera naměřil Sirius, ovšem jeho jasnost odpovídala jen 0.02 V. Dalšího roku se mu podařilo systém ještě vylepšit, a podařilo se mu zaznamenat světlo (v řádech milivoltů), pro Regulus, Arcturus,  $\eta$  Boo a Saturn hned první noci pozorování. Další noci pak měřil ještě několik dalších hvězd a planet.

Během roku 1896 pokračoval v měřeních. Pro Arcturus, Regulus a Procyon zjistil, že relativní síla signálu odpovídá jejich vizuálním magnitudám, ale v případě Betelgeuse získal nečekaně silný signál [28].

## 7.2 Fotokonduktivní články

Klíčovou postavou nejen pro tento typ fotočlánků byl Joel Stebbins (1878 - 1966). Jeho blízkým spolupracovníkem se stal Fay Cluff Brown (1881 - 1968).

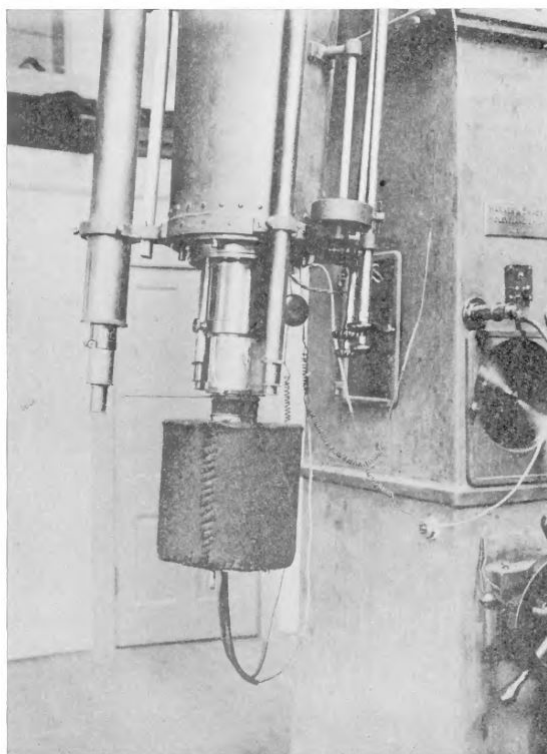
Joel Stebbins se narodil ve městě Omaha v Nebrasce. Studoval na Nebraské univerzitě, následně na Wisconsinské a doktorát získal na Kalifornské univerzitě v roce 1903. Po studiu se stal ředitelem hvězdárny při Illinoiské univerzitě. Jeho prvním velkým projektem byla fotometrie 107 dvojhvězd za použití třicetimetrového refraktoru a Pickeringova fotometru. V roce 1905 se oženil s May Louise Prentiss [46]. Později Stebbins napsal:

*„Fotometrická práce postupovala celkem dobře po několik let, než k nám domů přišla nevěsta. Pak se začaly dít věci. Nebavilo ji zůstat dlouhé večery doma,*

*a tak začala chodit na hvězdárnu, kde pomáhala jako zapisovatelka, čímž mě dostala domů dříve. Zapisovala čísla, jak je hlásil pozorovatel, ale po několika nocích, kdy musela zapsat sto hodnot jen pro určení jedné magnitudy, prohlásila, že to jde velmi pomalu. Odvětil jsem, že jednoho dne toto budeme dělat pomocí elektriny. To byla osudová poznámka. Od té doby se mě často ptala: Kdy začneš používat elektrinu?“(přeloženo z [46])*

O rok později Stebbins navštívil přednášku, na které se setkal s F. C. Brownem. Ten předváděl selenový článek, který, pokud naň zasvítilo světlo, zvonil zvonečkem. Stebbinse napadlo přístroj využít k měření jasnosti hvězd. V roce 1907 začali měřit jasnost fází Měsíce. Předtím se pokoušeli zachytit záření Jupiteru, ovšem bez úspěchu. Během následujících let se jim podařilo detektor vylepšit. Když Stebbinsovi spadl a rozbil se, zjistil, že menší článek vytváří stejně silný signál, ale s menším šumem. Stejně tak při zimním pozorování zaznamenal menší šum — což jej vedlo k chlazení fotočlánku na konstantní teplotu, ideálně pod 0° C. Konečně mohl pozorovat hvězdy třetí magnitudy [46].

Jako chlazení používal nádobu s ledem, viz Obr7.1, upevněnou za dalekohledem. Před ní se nacházela ruční uzávěra, používaná k expozici fotočlánku světlu. Každá expozice trvala deset sekund, s minutovou přestávkou mezi dvěma měřeními k uklidnění fotočlánku. Signál vedl ke galvanometru, umístěném v jiné místnosti — pozorovatel nemusel být přímo u dalekohledu. Na rozdíl od zavedené praxe byl „skutečným pozorovatelem“ zapisovatel u aparatury, zatímco u dalekohledu stál asistent [47].



Obrázek 7.1: Selenový článek v nádobě s ledem, připevněný na 30-centimetrovém refraktoru [Obr. 22]

## 7.2.1 Algol

Stebbins začal měřit světelnou křivku Algolu. Jako referenční hvězdy zvolil  $\alpha$  Per a  $\delta$  Per. Přesnost měření, vyjma blízko hlavního minima, dosahovala třetího desetinného místa, vyšší přesnosti, než jakékoli soudobé vizuální či fotografické měření. Nalezl sekundární minimum této zákrytové proměnné hvězdy, viz Obr.7.2, slabší o 0.06 mag. O tomto rozdílu poznamenal, že kdyby Algol byl méně jasný, byl by možná rozlišitelný i při vizuálním pozorování [47].

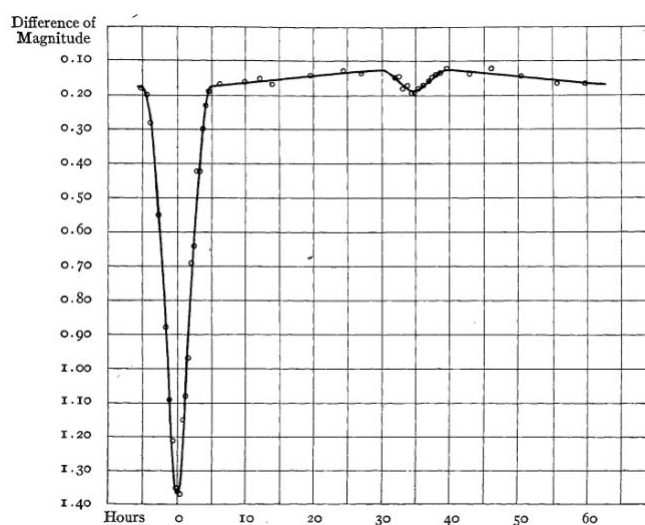
Celé měření, zaznamenávající množství minim s různými jasnostmi, mu trvalo šest měsíců. Měření Algolu dokončil roku 1909, článek vydal v *The Astrophysical Journal* následujícího roku [46]. V článku se kromě samotného nalezení sekundárního minima věnuje i vlastnostem dvojhvězdy — jejím sklonu či jasnostem a hmotnostem složek.

## 7.2.2 Další měření

V návaznosti na toto měření zkoušel ještě několik dalších hvězd:  $\beta$  Aur s periodou čtyř dní s minimy stejného poklesu 0.08 mag;  $\delta$  Ori s periodou 5.7 dní s minimy 0.08 mag a 0.05 mag; u  $\alpha$  CBr zaznamenal zákryt, který byl později potvrzen fotoelektrickým článkem. Jeho úspěchy při měření zákrytových dvojhvězd jej vedly k systematickému pozorování těchto objektů [46].

Po roce 1911 však už přestal používat selenový článek. Byť s ním dosáhl úspěchů, byl obtížný na používání a Stebbinsovi se do ruky dostal nový fotoelektrický článek.

Ačkoli byl Joel Stebbins nejvýznamnějším uživatelem fotokonduktivního článku, nebyl prvním. Sám Stebbins zmiňuje nepublikované pokusy Edwarda Pickeringa, zřejmě okolo 1877, se selenovým článkem. V Německu zase Ernst Ruhmer (1878 - 1913) pozoroval pomocí selenového článku sluneční a měsíční zatmění v letech 1902 a 1903 [28].



Obrázek 7.2: Světelná křivka Algolu naměřená J. Stebbinsem [Obr. 23]

## 7.3 Fotoelektrické články

Fotoelektrický jev (fotoefekt) byl poprvé pozorován Heinrichem Hertzem (1857 - 1894) v roce 1887. Ačkoli jej detailně popsal, nepokračoval v jeho výzkumu. O rok později Wilhelm Hallwachs (1859 - 1922) objevil ještě něco: ultrafialové světlo je schopné rozptýlit záporný náboj na zinkové desce, ovšem nikoli kladný náboj.

Ve Wolfenbüttelu Julius Elster (1854 - 1920) a Hans Geitel (1855 - 1923) přivedli tento jev k praktickému využití. Zjistili, že alkalické kovy jsou fotoelektricky neaktivnější a roku 1892, pouhé čtyři roky po Hallwachsově objevu, sestrojili první fotoelektrický článek. Fotokatody vytvořili ze slitiny sodíku a draslíku. V roce 1910 se přesunuli od samotných kovů k jejich hydridům, které reagovaly ještě lépe. A právě tyto fotonky byly od roku 1912 používány k astronomické fotoelektrické fotometrii [28].

### 7.3.1 První fotonky

Elster a Geitel se snažili astronomy přesvědčit, aby se o fotometrii jejich fotonkami pokusili. První pokusy s nimi tedy nakonec prováděly tři samostatné skupiny. Dvě z nich se nacházely na hvězdárnách v Berlíně a Tübingenu. V Berlíně to byl Paul Guthnick (1879 - 1947) a v Tübingenu Hans Rosenberg (1879 - 1940) a Edgar Meyer. Ze začátku o sobě zřejmě nevěděli.

Ve stejné době, roku 1911, nastoupil Jakob Kunz na Illinoiskou univerzitu. Pocházel ze Švýcarska, studoval v Anglii a v Německu a do Ameriky přivezl informace o novém fotoelektrickém článku. Setkal se s Joelem Stebbinsem, který v roce 1912 na svém sabatiku navštívil Berlínskou hvězdárnu. Zde se seznámil s Guthnickem. Kunzovi se mezitím podařilo sestrojít články na základě hydridu draselného, podobné těm Elstera a Geitela. Kunzův článek byl poprvé vyzkoušen roku 1912, když byl Stebbins ještě v Evropě [28].

Tyto rané fotonky vydávaly příliš slabý proud na použití klasických galvanometrů. Místo nich používali pozorovatelé vláknové elektrometry. Rosenberg hlásil, že je s nimi schopen měřit proudy v řádech  $10^{-13}$  A. Jejich konstrukce však vyžadovala velkou blízkost fotonky a vertikální orientaci, což ztěžovalo jejich používání [28].

### 7.3.2 Paul Guthnick

První Guthnickovy pokusy začaly roku 1912, kde měřil jasnosti jednotlivých hvězd, Vegy a Denebu, jejichž relativní rozdíl jasností určil na skoro trojnásobek, což přibližně odpovídalo vizuálním pozorováním.

Používal sodíkový článek firmy Günther a Tegetmeyer z Braunschweigu (Brunšviku), stejné konstrukce jako ty od Elstera a Geitela. Připojen byl na třiceticentimetrový refraktor.

Roku 1913 pozoroval proměnnou hvězdu  $\beta$  Cep, typovou hvězdu třídy proměnných podobných cefeidám. Guthnick ji ovšem zařadil do kategorie hvězd typu RR Lyr.

V létě toho roku se berlínská hvězdárna přestěhovala do Babelsbergu na okraji města. V nové lokaci fotometrická pozorování pokračovala ve spolupráci s Richar-



dem Pragerem (1883 - 1945). Měření probíhala i za první světové války, kdy mimo jiné zkoušeli vlastnosti článků různých alkalických kovů — sodíku, draslíku, cesia a rubidia. Druhé dva prvky reagovaly nejen v modrofialové, ale i žlutočervené oblasti. Všechny články byly plněny argonem. Pro běžná pozorování zvolili sodíkový článek, kvůli jeho vyšší senzitivitě. Při měření brali v potaz atmosférickou extinkci, včetně její závislosti na spektru hvězdy.

Od roku 1916 Guthnick a Prager experimentovali s barevnými filtry — do detektoru vkládali žlutý filtr a definovali barevný index jako rozdíl jasností hvězdy s a bez filtru.

Ke konci roku 1917 naměřili skoro 67 000 hodnot, pro asi 50 objektů. Přesnost odhadovali na 0.005 mag, ovšem jednalo se jen o chybu během jedné noci. Mezi různými nocemi byla systematické chyby podstatně větší, a oba astronomové tak hlásili proměnnost u hvězd, které proměnné nebyly. Ovšem pět z pozorovaných hvězd byly skutečně proměnné, kromě zmíněné  $\beta$  Cep také  $\alpha$  Cvn.

Po konci války přišel na observatoř Berlín-Babelsberg Kurt Bottlinger (1888 - 1934). Mezi lety 1920 a 1922 spolupracoval s Guthnickem na fotometrických pozorováních. Přidal, kromě již používaného žlutého, i modrý filtr, se kterým naměřil dvoufiltrové barevné indexy 459 hvězd. Jednalo se o první dvoubarevný systém barevných indexů zmíněný v literatuře (ovšem kombinace fotografického a vizuálního pozorování už v té době byla známa). Bottlinger si všiml přehnaného zčervenání rudých veleobrů v rovině galaxie. Jednalo se o první náznak absorbojícího prostředí, hustšího v rovině Mléčné dráhy. V Bottlingerově práci pokračoval mezi lety 1930 a 1931 Wilhelm Becker, ovšem s jiným žlutým filtrem [28].

### 7.3.3 Hans Rosenberg

Hans Rosenberg ve spolupráci s Edgarem Meyerem používali draslíkovou fotonku na 13-centimetrovém refrakoru. V roce 1913 podali první zprávu o experimentu, ovšem bez jakýchkoli naměřených dat. Během války naneštěstí museli s většinou práce přestat, a až v roce 1920 znovu Rosenberg prezentoval svou práci. Jeho hlavním cílem bylo nalézt metodu, schopnou detekovat proudy řádu  $10^{-14}$  A. Experimentoval s DC zesilovačem o míře zesílení až 600 000. Hlavní výhodou byla možnost využití galvanometru místo elektrometru.

O desetiletí tak předběhl svou dobu — až roku 1932 Albert Whitford na Washburnské hvězdárně ve Wisconsinu použil stejný typ zesilovače.

Rosenberg nikdy neprováděl žádná systematická měření, ale jeho články tvoří nejdetailejší popisy fotoelektrických detektorů té doby. Roku 1933 se přestěhoval do Ameriky na Chicagskou univerzitu, čímž jeho éra v Tübingenu skončila. V roce 1938 se stal ředitelem hvězdárny v Istanbulu, kde roku 1940 zemřel [28].

### 7.3.4 Joel Stebbins podruhé

Než se Joel Stebbins vrátil z Evropy, podařilo se J. Kunzovi a W. F. Schulzovi pozorování  $\alpha$  Aur a  $\alpha$  Boo. Po návratu už Stebbins s Kunzem používali pouze fotoelektrický detektor — starší selenový už nebyl použit pro žádnou publikovanou vědeckou práci.

Stebbins pokračoval ve svém studiu zákrytových proměnných hvězd — jeho měření se zaměřilo mimo jiné na  $\lambda$  Tau,  $\sigma$  Aql,  $\beta$  Per, AR Cas [46], také eliptické proměnné  $\pi^5$  Ori [48] a b Per [49], novu Aql No.3 (1918) [46].

V roce 1922 se Stebbins přesunul na Wisconsinskou univerzitu, kde se stal ředitelem Washburnské hvězdárny. Pokračoval ve svém pozorování zákrytových proměnných až do roku 1925, kdy se přesunul k jiným oblastem fotometrie. Často pracoval na Mt. Wilson, společně s C. M. Hufferem, matematikem z Illinoiské univerzity, který navázal na Stebbinsovo dílo — mimo jiné pomáhal Edwinu Hubbleovi s měřením jasností galaxií. Se Stebbinsem spolupracoval na studiu mezihvězdného zčervenání. Kunz, který zůstal v Illinois, i nadále vyráběl fotoelektrické články, které poskytoval mimo jiné i Stebbinsovi až do své smrti v roce 1938 [46].

## 7.4 Pád Severní polární sekvence

I v době rozvoje fotoelektrické fotometrie pokračovala ta fotografická. V jejím centru stála Severní polární sekvence, mezinárodní standard, přijatý Mezinárodní astronomickou unií (IAU). S postupem času se však její pozice zhoršovala. K roku 1955 už přestala fungovat jako praktický systém magnitud.

Od třicátých let se posunula dál astrofyzika, čímž se na pole určování jasností dostala znalost spektra hvězd. Stejně tak nové metody výroby zrcadel dalekohledů vedly ke změně citlivosti vůči různým částem spektra, převážně směrem k ultrafialovému světlu.

A posledním hřebíkem do rakve byla právě fotoelektrická fotometrie, měřící na mnohem užších šířkách vlnových délek. V roce 1938 Joel Stebbins a Albert Whitford měřili jasné hvězdy do magnitudy 11.6. Podařilo se jim změřit, že mezi magnitudami 5 a 9 Mezinárodního systému, tj. v Severní polární sekvenci, je rozdíl 4.2 magnitudy. I po roce kontrol a diskuzích se Searesem nebyly nalezeny žádné observační chyby. Nakonec byly jako problém určeny jasné hvězdy sekvence, typu A, které se v rámci fotoelektrické metody zobrazovaly jasněji. Neznamenal to však, že by jedna či druhá stupnice byla špatně. Jen každá měřila v jiné části spektra.

Do roku 1952 se Seares snažil Severní polární sekvenci upravovat tak, aby stále ještě splňovala nová měření. Toho roku se konala konference IAU v Římě, jíž se však už Seares nezúčastnil jako předseda komise, a která se fotometrií zabývala. Překvapivě se však komise ještě Severní polární sekvence nevzdala. Místo toho zavedly nové hodnoty, upravené tak, aby souhlasily s fotoelektrickými měřeními. Tím se však posunuly od hodnot, naměřitelných fotografickou metodou. Následovaly návrhy, jak sekvenci upravit, aby mohla být nadále používána. Do toho se ale nikdo moc neměl, vzhledem k efektivitě nových metod fotometrie.

Na následující konferenci IAU v Dublinu roku 1955 Severní polární sekvence konečně dosloužila. Na fotografickou fotometrii měly být nadále používány filtry, které by omezily ultrafialové záření. Tím se však měření vzdálila od Mezinárodního systému. V této době také už byl zaveden UBV systém, který se stal preferovaným systémem pro hvězdnou fotometrii [28].

## 8. Fotometrické systémy

Severní polární sekvence byla prvním pokusem o vytvoření standardu pro určování magnitud na celé obloze. Vzniknuvší díky adventu fotografie, její první podoby se tohoto fotometrického média držely. Ale jak se začínaly objevovat poznatky o spektrech hvězd, stejně jako nešlo dostatečně dobře porovnávat fotografické měření s tím vizuálním, tento standard dostával čím dál větší trhliny. Konečně byl roku 1955 definitivně opuštěn.

Fotoelektrická fotometrie se stala postupem času převládajícím způsobem měření — obzvláště s příchodem zesilovačů. Jejich dosah v měřitelné jasnosti se konečně začínal rovnat oběma starším metodám. Znalost rozdílných vlastností různých článků v závislosti na použitém chemickém složení vedla k používání filtrů, což dalo za vznik měření v různých vlnových délkách. V roce 1929 rozšířil Lewis Koller měřitelné spektrum do červené barvy, použitím Cs-O-Ag fotokatody. Později se tento typ začal označovat jako S1.

Stejně jako v minulosti se astronomové pokoušeli o spojení starších systémů magnitud s těmi, které aktuálně používali. Logickým vyústěním vznikl filtr na vlnové délce cca 550 nm, srovnatelný s vrcholnou citlivostí lidského oka. Přidáním dalších filtrů vznikly barevné indexy a na základě těch poté nové hvězdné standardy, více akcentující rozlišná spektra hvězd než Severní polární sekvence.

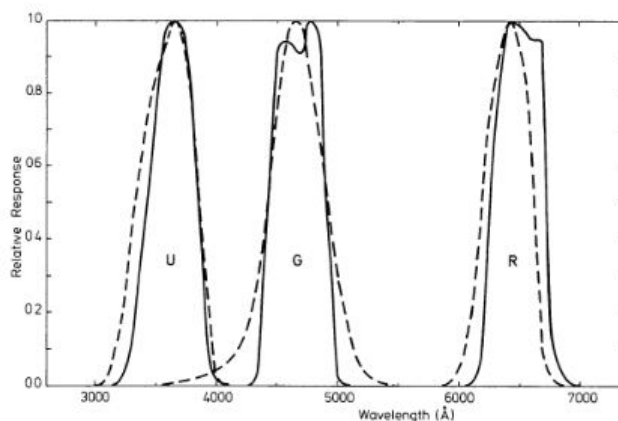
### 8.1 Beckerův RGU systém

Wilhelm Becker (1907 - 1996) promoval v roce 1932 u Paula Guthnicka v Berlíně. Ve stejném roce se stal asistentem na Mnichovské hvězdárně. Během krátké doby vystřídal více pracovišť — Postupim, Vídeň, Göttingen a Hamburg [50]. Měřil magnitudy hvězd v červené barvě (710 nm), celkem 190 různých spektrálních typů. Ve své práci používal dvojici barevných indexů:  $m_{vis} - m_{red}$  a  $m_{pg} - m_{vis}$ . Ke konci Druhé světové války, jako profesor v Göttingenu, navrhl nový širokopásmový systém s filtry v červené, zelené, modré a ultrafialové barvě (638 nm, 481 nm, 424 nm, 373 nm). Takovýto systém byl vhodnější pro určování vlastností hvězdy — například byl schopen rozlišit silně zčervenalou hvězdu od té s touto barvou přirozenou.

Becker sám proměřil 66 hvězd Severní polární sekvence, 154 hvězd z jedné z Kapteynových oblastí a řadu hvězd typu A v M52. Postupně přešel k pouze třem filtrům – červenému, zelenému a ultrafialovému, tedy takzvanému RGU systému. Tento systém se však nikdy nestal významným. Becker měřil fotograficky a fotografie už byla v této době nahrazována fotoelektrickými metodami. Navíc psal v němčině a jeho hlavní návrh vznikl ke konci války [28]. Další měření prováděl i v jiných hvězdokupách. V roce 1958 se mu podařilo, společně s Jürgenem Stockem, pomocí jeho měření, soustředících se na červenání jednotlivých hvězd (a tedy jejich vzdáleností), nezpochybnitelně určit tvar Mléčné dráhy jako spirální galaxie. V roce 1970 pak na Palomaru objevil velmi bílé hvězdy, které A. Sandage označil jako kvasary. Na dlouhou dobu byla jeho pozorování jediným zdrojem těchto objektů [50].

Převod na fotoelektrický systém nebyl pro RGU dlouho možný. Fotonásobič 1P21 nebyl schopen dostat se k červenému filtru. Kromě práce samotného Beckera a Stocka tak novější UBV systém převládal [28].

Beckerův systém však nebyl úplně zapomenut — v roce 1983 publikovali C. F. Trefzger, L. M. Cameron, A. Spaenhauer a U. W. Steinlin fotoelektrickou variantu RGU systému na základě S20 katody a Beckerových tří R, G a U filtrů. Z tohoto článku pochází i Obr.8.1 [51].



Obrázek 8.1: Pásma fotoelektrického RGU systému (plné čáry) a fotografického systému RGU dle Busera (přerušované čáry) [Obr. 24]

## 8.2 Fotonásobiče

V roce 1935 v RCA<sup>1</sup> v New Jersey a nezávisle ve firmě Philips v Holandsku navrhli využití sekundární emise elektronů k zesílení proudu z fotoelektrického článku. První takové zařízení vyrobili Harley Iams a Bernard Salzberg v RCA, o pár měsíců později podobný článek vyrobili Frans Penning a A. Kruithof v Holandsku. Jednalo se o Cs-O-Ag (S1) fotonásobiče. O rok později v RCA začal Vladimír Zworykin (1889 - 1982) fotonásobič vylepšovat. Byl to právě jeho výrobek, který byl poprvé použit v astronomii — získal jej v roce 1937 Joel Stebbins a Whitford s Kronem jej následně používali jako naváděcí zařízení na Mt. Wilson [28].

Paul Görlich (1905 - 1986) v Drážďanech popsal novou fotokatodu CsSb, kterou následně RCA v roce 1940 použil jako S4 ve fotonásobiči RCA931. O tři roky později vznikl fotonásobič 1P21 (viz Obr.8.2), po válce uvolněný ke komerčnímu použití. Při napětí 100 V zesiloval proud dvoumilionkrát. Jeho citlivost na světlo pak byla 40  $\mu\text{A}/\text{lm}$ .

Tento fotonásobič se brzy rozšířil mezi astronomy, počínaje Gerrym Kronem na Lick Observatory, který následně pomáhal se sestavením fotometrů s 1P21 [28].

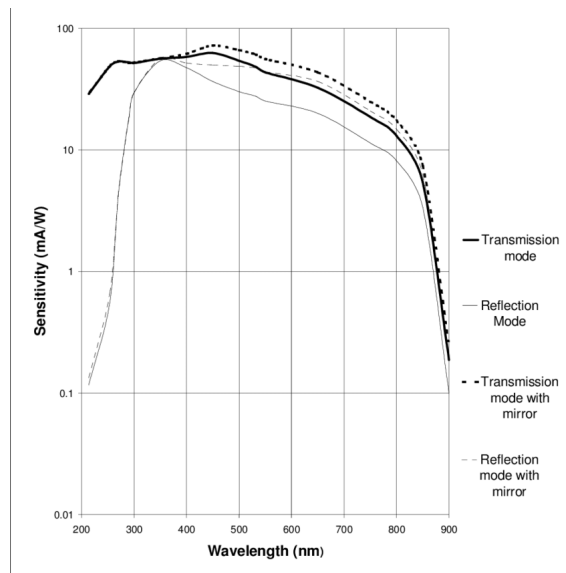
<sup>1</sup>Radio Corporation of America, od 1969 RCA Corporation



Obrázek 8.2: Fotonásobič RCA 1P21 [Obr. 25]

V roce 1955 Alfred Sommer popsal další fotoemisioní povrch, známý jako S20. Jeho chemické složení bylo SbKNaCs ve vrstvách, cesium v monoatomické vrstvě. Citlivost na světlo měl až  $180 \mu\text{A}/\text{lm}$  [28].

Citlivost fotokatody odpovídá efektivitě přeměny fotonů na fotoelektrony. Tato citlivost se mění v závislosti na vlnové délce příchozích fotonů. S20 má dobrou citlivost od ultrafialového spektra po blízkou infračervenou oblast okolo 850 nm, viz Obr.8.3 [52].



Obrázek 8.3: Světelná citlivost S20 v závislosti na vlnové délce [Obr. 26]

## 8.3 (P, V) a UBV systémy

### 8.3.1 (P, V) systém

Ačkoli první měření s fotonásobiči shodně používala modré a žluté filtry, aby tak přibližně odpovídala fotografickým a vizuálním měřením, neshodli se pozorovatelé, na jakých konkrétních vlnových délkách měří.

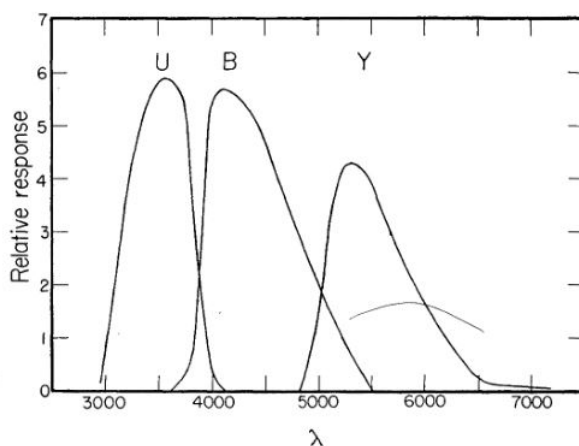
V roce 1951 Gerry Kron navrhl nový zjednodušený systém, který měl standardizovat tyto rozličné filtry. Stále v návaznosti na Severní polární sekvenci, Stebbins, Whitford a Johnson zvolili devět jejích hvězd jako standardní pro nový (P, V) systém. Následovala neformální dohoda mezi americkými observatoři a další měření byla prováděna v rámci tohoto systému — až do příchodu UBV.

Chybějící ultrafialový filtr v (P, V) systému neumožňoval lineární převod mezi ním a Mezinárodním systémem na základě Severní polární sekvence. I proto byl velmi rychle opuštěn [28].

### 8.3.2 UBV systém

Tento systém vznikl ve stejné době jako jeho předchůdce — mezi lety 1950 a 1951. Jeho autoři Harold Lester Johnson a William Wilson Morgan v květnu 1953 vydali článek (viz [53]), ve kterém tento systém představili. U, B a V odpovídají třem filtrům — V je žlutý filtr, přibližně ekvivalentní fotovizuální magnitudě Mezinárodního systému; B je modrý filtr a U je ultrafialový filtr, pro které je splněna podmínka  $U - V = 0$ , respektive  $B - U = 0$  pro hvězdy typu A0 [53].

Jako filtr U používali Corning 9863 s maximem okolo 363 nm, jako B filtry Corning 5030 a Schott GG13 s maximem okolo 426 nm a jako V filtr Corning 3384 s maximem okolo 529 nm, viz Obr.8.4 [54].



Obrázek 8.4: Citlivost fotometru UBV systému [Obr. 27]

Nový systém obsahoval jako standardní hvězdy objekty ze všech částí H-R<sup>2</sup> diagramu, včetně několika bílých trpaslíků. Jako standardy používali blízké hvězdy, včetně těch z otevřených hvězdokup M44 Praesepe, M45 Plejády a IC4665.

<sup>2</sup>Hertzsprung-Russellova

Použitým fotonásobičem byl 1P21. Veškerá měření byla opravena o atmosférickou extinkci. Pro měření nových standardních hvězd pro UBV systém bylo využito deset srovnávacích hvězd [53]: 10 Lac,  $\eta$  Hya, HR 875, HR 8832,  $\alpha$  Ari,  $\beta$  Cnc [54],  $\tau$  Her,  $\beta$  Lib,  $\alpha$  Ser,  $\epsilon$  CrB, které byly následně srovnané se Severní polární sekvencí. Přesnost měření udávají jako  $\pm 0.017$  mag.

Mezinárodní systém používal jako kalibraci podmínku, že hvězdy typu A0 okolo šesté magnitudy mají barevný index rovný nule. Johnson a Morgan zmiňují, že tento průměr se posunul mezi  $-0.14$  a  $-0.04$  mag. Vracejí se pak právě k této původní kalibraci: průměrné hodnoty pro šest hvězd typu A0V ( $\alpha$  Lyr,  $\gamma$  UMa, 109 Vir,  $\alpha$  CrB,  $\gamma$  Oph a H R3314) se mají rovnat nule. Tedy  $U - B = B - V = 0$  [53].

V roce 1954 přidali 98 dalších sekundárních standardů, převážně rovníkových. O rok později Johnson vydal článek popisující celý UBV systém, včetně dalších standardních hvězd. Johnson a Morgan také zavedli takzvaný Q parametr, dle kterého lze rozlišovat mezi zčervenalými hvězdami a těmi nezčervenalými. Definovaný byl pomocí barevných indexů jako  $Q = (U - B) - 0.72(B - V)$ .

Roku 1955 proběhla mezinárodní konference v Dublinu, již dříve zmíněná v souvislosti se zrušením Mezinárodního systému a tedy Severní polární sekvence. Na této konferenci se UBV systém stal oficiálním systémem pro tříbarevnou fotometrii. Jediným odpůrcem byl W. Becker, nepřekvapivě vzhledem k existenci jeho vlastního RGU systému [28].

## 8.4 Fotoelektrické sekvence

Fotonásobiče 931-A a 1P21 vedly jejich první uživatele k pokusům kalibrovat fotografická pozorování pomocí těch fotoelektrických. Prvními autory fotoelektrické sekvence byli Bart Bok a jeho manželka Priscilla z Boydenské hvězdárny v roce 1950. Bokův student Uco van Wijk na stejném místě vytvořil sekvenci v Magellanově mračnu. Následovali další — Archibald Brown v Yerkeské a McDonaldské hvězdárně pro měření v kulové hvězdokupě M15; Harold Johnson a Martin Schwarzschild z Mt. Wilson pro stejný objekt postavili svou vlastní dvoubarevnou fotoelektrickou sekvenci.

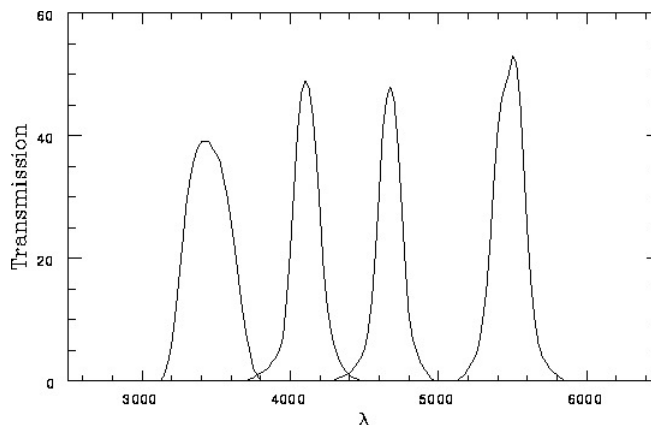
Tyto sekvence byly postaveny na tzv. (P, V) systému, krátce používaném před UBV systémem v roce 1953. UBV systém byl sice koncipován pro fotoelektrická měření, Johnson však brzy přidal převod na fotografické filtry a desky. Tato fotografická varianta byla záhy využita Johnsonem a Sandagem pro měření M67, M11 a M3.

V roce 1973 pak Noel Argue ve spolupráci s Bartem Bokem sestavil katalog fotoelektrických sekvencí — obsahoval jich 480, většinu v UBV systému [28].

## 8.5 *uvby* systém

Bengt Strömgren na Yerkeské hvězdárně začal roku 1950 experimentovat s *abc-def* úzkopásmovým systémem. Konstruoval indexy, které byly citlivé na Balmerův skok,  $H\beta$  čáru a metalicitu pro hvězdy typů B, A a F. Jednalo se o první filtry, jež byly zkonstruovány na základě astrofyzikálních potřeb.

Po odchodu do Princetonu v roce 1957 sestavil Strömngren *wby* systém s o něco širšími pásmy, viz Obr.8.5. Stejně jako jeho předchůdce měl kompozitní indexy citlivé na Balmerův skok a metalicitu. Tento systém se stal nejběžněji používaným středněpásmovým systémem, úzce spojeným s fotometrií v  $H\beta$  čáře. První fotometrický katalog *wby* $\beta$  sestavili E. Lindermann a Bernard Hauck v roce 1971. Obsahoval 7603 hvězd [28].



Obrázek 8.5: Přenosové křivky *wby* systému [Obr. 28]

## 8.6 UBVRi systém

Prvním fotoelektrickým systémem ve více barvách byl šestibarevný UVBGRI systém Stebbinse a Whitforda, sestavený s S1 fotočlánkem. Na jeho základě vycházely články mezi lety 1940 a 1949, psané Stebbinsem, Whitfordem a Kronem.

V šedesátých letech se začal používat systém UBVRiJKLMN, vytvořený Johnsonem roku 1959 jako rozšíření UBVR systému. Z těchto filtrů R a I měly střední vlnové délky okolo 670 nm a 870 nm. Zmenšený rozsah UBVRi nahradil šestibarevný systém, nejspíš důsledkem popularity základního UBVR systému. UBVRi potřeboval dva různé fotočlánky, S4 či S11 a S1. Z důvodu malé citlivosti S1 a nevýhodnosti střídání fotočlánků mnoho astronomů preferovalo pouze UBVR systém.

Na začátku sedmdesátých let vznikl rozšířený S20R fotočlánek, respektive S25, což umožnilo podstatně jednodušší používání Johnsonova pětibarevného systému [28].



# 9. Fotometrie proměnných hvězd

Proměnné hvězdy jsou perfektními kandidáty na fotometrická pozorování: vyznačují se změnami jasnosti a jasnost hvězdy je hlavním předmětem fotometrie. V dnešní době je pozorování proměnných hvězd jednou z hlavních odnoží astronomické fotometrie. Objevování proměnných hvězd postupovalo ruku v ruce s mapováním oblohy. Čím více hvězd lidé pozorovali a měřili, tím větší byla šance, že naleznou takovou, která mění svou jasnost. Není se pak čemu divit, když každý velký posun v technikách fotometrie umožnil i nalezení dalších proměnných hvězd.

## 9.1 Tychonova a Keplerova hvězda

Evropa dlouhou dobu těžila z děl antických filosofů, jako byl dříve zmiňovaný Ptolemaios, nebo Aristoteles. Druhý z nich považoval hvězdy za stálé a neměnné — podle něj je tvořila takzvaná „kvintesence“, nebo pátý element, doplňující zbylé čtyři. Jedinou změnu, kterou Aristoteles vnímal, byl rovnoměrný pohyb v kruhu.

Jeho teorie se na dlouhou dobu stala všeobecně uznávanou. Až teprve v šestnáctém století se podařilo neměnnost hvězd vyvrátit. Shodou okolností vzplanuly v relativně krátké době dvě supernovy. Tu první z nich pozoroval Tycho Brahe v roce 1572 (viz Obr.9.1). Jako jeden z nejlepších pozorovatelů své doby velice přesně popsal změny jasnosti této „nové hvězdy“ v Kassiopei. Nezávisle na něm tutéž supernovu pozoroval Thomas Digges. Přesnost Braheových pozorování a hustota zápisů umožnila pozdějším astronomům rekonstruovat tento úkaz s přesností  $\pm 0.2$  mag.

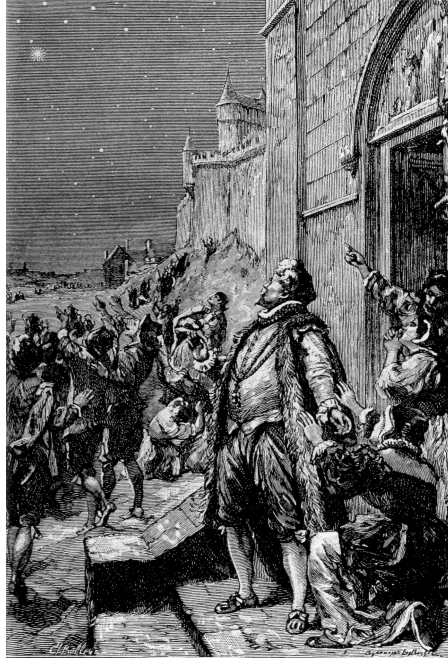
Jen o tři desetiletí později, v říjnu 1604, pozoroval Johannes Kepler další „novou hvězdu“. Tentokrát byl druhým nezávislým pozorovatelem David Fabricius z Osteelu ve Východním Frísku, dnes nacházejícím se v Německu. Jednalo se sice o trochu slabší objekt, ale stále srovnatelný s jasností Jupitera (Tychonova hvězda se vyrovnala Venuši) [55].

## 9.2 První proměnné hvězdy

Prvními objevenými proměnnými hvězdami byly Algol a Mira. Algol ( $\beta$  Per) byl možná znám už v antice, možná jeho proměnnost zaznamenal al-Súfí. Těmto brzkým pozorováním napovídá i jméno této hvězdy: znamená démon. První explicitní zmínění jako proměnné hvězdy ale přišlo až v roce 1670 Geminianem Montanarim [56].

Mira (*o* Cet) byla poprvé zaznamenána Fabriciem v roce 1596. Během svých pozorování zjistil, že je Mira někdy viditelná, někdy ne. Navíc se tento cyklus opakuje s jedenáctiměsíční periodou.

Během následujících let bylo objeveno několik dalších takových hvězd. Další klíčový posun nastal až s Williamem Herschelem. On sám objevil dvě proměnné hvězdy –  $\alpha$  Her a 44i Boo. Navíc však mocným dílem přispěl k rozvoji pozorování hvězd a určování jejich jasností [55].



Obrázek 9.1: Tycho Brahe pozorující novu v Kassiopei [Obr. 29]

### 9.2.1 John Goodricke a Edward Pigott

John Goodricke se narodil roku 1764 v Groningenu. V dětství ztratil řeč i sluch, ale nikoli svou mysl. I přes jeho handicap, který byl v té době spíše považován za duševní zaostalost, byl poslán do školy pro neslyšící v Edinburghu. Z ní se velmi rychle dostal na Warringtonskou akademii. V Yorku se blíže seznámil se svým bratrancem Edwardem Pigottem (1753 - 1825). Oba amatérští astronomové pozorovali z malé hvězdárny za Pigottovým domem.

V listopadu 1782 poprvé Goodricke zaznamenal změnu jasnosti Algolu. Svoje pozorování prováděl až do května následujícího roku, kdy prostřednictvím dopisu předal své výsledky Královské astronomické společnosti. Také navrhl, že změnu jasu způsobuje nějaké druhé těleso, které okolo Algolu obíhá. To se ukázalo jako to správné. Goodricke však navrhl i druhé vysvětlení, které bylo v jeho době populárnější — totiž tmavé skvrny na rotující hvězdě. Toto vysvětlení sice platí pro jiné proměnné hvězdy, nikoli však pro Algol.

Nejednalo se však o jediný objev této dvojice. 10. září 1784 objevil Pigott proměnnost  $\eta$  Aql (v té době  $\eta$  Antinoi [57]), pouhým okem pozorovatelné cefeidy. O hodinu později objevil Goodricke proměnnou  $\beta$  Lyr. A během téhož týdne ještě  $\delta$  Cep, typovou hvězdu cefeid.

Naneštěstí v dubnu 1786 John Goodricke ve svých 21 letech zemřel. Edward Pigott po jeho smrti objevil ještě proměnné R Sct a R CrB [56].

## 9.3 Čínská pozorování

Astronomická pozorování neprobíhala jen v západní části Eurasie. Čínská astronomie však byla natolik odlehlá, že její výsledky se do Evropy dostaly se zpožděním několika staletí. Pokud Ulugh Begovo dílo dorazilo těsně poté, co bylo v Evropě překonáno (a byl také asi jediný, kdo by ze zmíněných historických as-

tronomů měl přístup k některým čínským zdrojům), díla čínských pozorovatelů už se mohla stát jen historickým exkurzem.

Zatímco v roce 1786 Pigott znal 12 jistých proměnných hvězd a 39 možných, v téže době lidstvo znalo již okolo 130 dalších nov. Většina z nich byla objevena právě v Číně. Tamní pozorování „nových objektů“ zahrnovalo převážně komety. Do roku 1600 je dvanáct z nich však zřejmě novami, z nichž nejznámější je N1054, na jejímž místě se nyní nachází Krabí mlhovina (M1) [57].

## 9.4 Systematické pozorování

Okolo roku 1850 F. W. A. Argelander zmiňuje 18 jistých a vyšší počet nejistých proměnných hvězd [55]. Argelander díky svému dílu *Bonner Durchmusterung* pečlivě prošel celou oblohu, takže kromě systematického pozorování pro svůj katalog systematicky pozoroval proměnné hvězdy. Také, jak bylo dříve zmíněno, zavedl nomenklaturu písmen R až Z, které značily proměnné hvězdy, jež ještě neměly označení v rámci souhvězdí, ve kterých se nacházely [41].

Argelander je také autorem prosby „přátelům astronomie“, vydané na konci článku v *Astronomisches Jahrbuch* v roce 1844:

*„Kdyby nám v této věci mohli být nápomocni velkým množstvím amatérů, mohli bychom snad během pár let nalézt zákonitosti těchto zjevných nepravidelností a tak v krátkém čase dokázat více než za celých 60 let od chvíle jejich nalezení.*

*Kladu proto tyto doted opomíjené proměnné hvězdy co nejnaléhavěji na srdce všem milovníkům hvězdných nebes. [...] Umocněte své potěšení zkombinováním užitečného a příjemného, když pomáháte rozšířiti lidské vědění a pomozte prozkoumati věčné zákony, které v nekonečnu hlásají všemohoucí moc a moudrost Stvořitele! Necht' není nikdo odrazen, kdo cítí odhodlání dosáhnouti cíle, slovy na tomto papíře. Pozorování se mohou zdát dlouhá a složitá na papíře, ale jsou v provedení jednoduchá [...] Mám jedno přání, které jest, aby tato pozorování byla uvěřitelná každý rok. Pozorování skrytá ve stole nejsou pozorování žádná. Kdyby byla mě předána pro vyhodnocení, nebo snad dokonce k vydání, zhostím se toho s radostí a díky, a také zodpovím všechny otázky s péčí a největším potěšením.“* (přeloženo z [55])

Jeho prosba vedla ke vzniku Sekce proměnných hvězd Britské astronomické asociace v roce 1890.

V Americe byl klíčovou postavou, jako obvykle, Edward Pickering. V roce 1882 vydal *A Plan for Securing Observations of Variable Stars*, kde mimo jiné zmínil, že se jedná o pole astronomie vhodné pro ženy. V roce 1911 vznikla American Association of Variable Star Observers (AAVSO). Původně s blízkými vazbami na Harvardskou observatoř, stala se dnes nezávislou mezinárodní organizací.

Pickering skutečně pro pozorování proměnných hvězd zaměstnával ženy, ať už Henriettu Leavitt, klíčovou při tvorbě Severní polární sekvence, nebo Margaret Mayall, Cecilii Payne-Gaposhkin, Helen Sawyer Hogg a další [55].

## 9.5 Fotografické pozorování proměnných hvězd

Stejně jako fotografie změnila celooblohovou fotometrii, změnila i hledání proměnných hvězd. Na desce zachycený obraz je dlouhotrvající a lze porovnat se snímky dřívějšími i pozdějšími. Najednou šlo hledat i proměnné hvězdy s delšími periodami či menšími rozdíly v jasnosti. Navíc každá deska zobrazovala větší kus oblohy, a tedy velké množství hvězd. Byla tak větší šance nějakou proměnnou hvězdu nalézt.

Mnohé hvězdárny hledaly tyto hvězdy cíleně, mezi nimi Harvard, Heidelberg, Leiden, Sonneberg a Sternberg. Každá z observatoří měla vlastní sadu proměnných hvězd s vlastním systémem katalogizace.

Některé oblasti na obloze byly prohledávány podrobněji: Mléčná dráha, okolí centra galaxie ve Střelci, kulové hvězdokupy, Magellanova mračna, později i galaxie jako M31. Už v roce 1903 bylo známo více jak 1000 proměnných hvězd, v roce 1907 přes 2000 a v roce 1920 jich bylo známo přes 4000. Do dnešního dne toto číslo samozřejmě mohutně narostlo [55].

### 9.5.1 Spektroskopie

Ještě před příchodem fotografie už byly známy některé zvláštnosti spekter proměnných hvězd: absorpční čáry ve spektrech chladných dlouhoperiodických hvězd a jasné emisní čáry ve spektrech nov a Be-hvězd jako  $\gamma$  Cas.

Vývoj fotografické spektroskopie H. Draperem v roce 1872 vedl ke vzniku velkých projektů spektrální klasifikace. Jedním z hlavních aktérů byl E. Pickering se svými kolegy. Tento výzkum vedl i k vývoji v klasifikaci proměnných hvězd.

### 9.5.2 Klasifikace

Piggott klasifikoval proměnné hvězdy dle délky jejich světelných křivek. Rozeznával novy, krátkoperiodické a dlouhoperiodické hvězdy. Pickering zavedl složitější systém: (Ia) novy; (Ib) novy v mlhovinách, nyní víme, že se jedná o supernovy v cizích galaxiích; (IIa) dlouhoperiodické hvězdy; (IIb) U Gem hvězdy, trpasličí novy, (IIc) R CrB hvězdy, hvězdy s nepravidelným prudkým pohasnutím; (III) nepravidelné proměnné, tedy cokoli, co se nehodí jinam; (IVa) krátkoperiodické hvězdy typu Cefeid či RR Lyr; (IVb)  $\beta$  Lyr zákrytové hvězdy; (V) zákrytové hvězdy typu Algol.

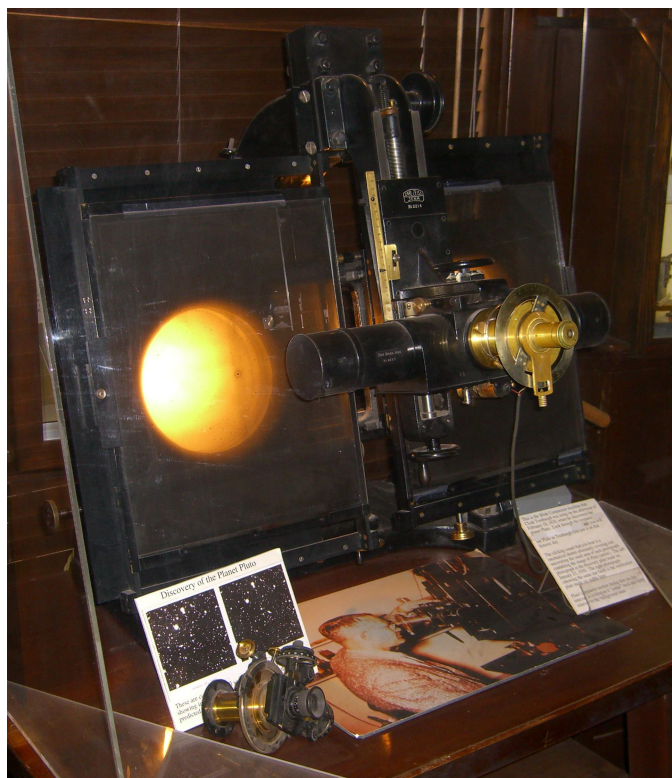
### 9.5.3 Stereo-komparátory a blink-komparátory

Stereo-komparátor zobrazuje dvě fotografické desky přes sebe, kde levé oko sleduje jednu z nich a pravé tu druhou. Max Wolf (1863 - 1932) využil této techniky v roce 1901 ke znovuobjevení S Ori a objevu deseti nových proměnných hvězd v Orionu. V roce 1904 Carl Pulfrich (1858 - 1927) poukázal na to, že místo přímého překrytí obrazů je výhodnější dát je přes sebe s mírným posunutím, čímž se ze všech hvězd stanou dvojhvězdy — které se pak snáze porovnávají.

O dva roky dříve Pulfrich, působící v Carl Zeiss Jena, postavil blink-komparátor (viz Obr.9.2). Místo binokulárního systému stereo-komparátoru byl monokulární a přístroj rychle střídal mezi obrazy obou desek, čímž se zdálo, že proměnné hvězdy blikají. K tomu systému dospěl Pulfrich poté, co si uvědomil, že oko

snáze vnímá prudké změny jasnosti, než ty statické jako v stereo-komparátoru. Blink-komparátor později využil W. J. Luyten (1899 - 1994) pro *Bruce Proper Motion Survey*, během něhož našel 2350 nových proměnných hvězd. Své výsledky publikoval roku 1938 [57].

Tímto přístrojem mimo jiné našel Clyde Tombaugh roku 1930 Pluto [58].



Obrázek 9.2: Blink-komparátor na Lowellově hvězdárně, použitý k objevu Pluta [Obr. 30]

#### 9.5.4 *Atlas Stellarum Variabilium*

*Atlas Stellarum Variabilium* sestavil v sedmi dílech J. G. Hagen, šest z nich v Georgetown Observatory, sedmý pak po dlouhé odmlce ve Vatikánské hvězdárně [59].

První tři díly obsahují známé teleskopické proměnné hvězdy do  $-25^\circ$  deklinace od severního pólu. Čtvrtý díl obsahuje jasnější proměnné, na které stačí 7.5-centimetrový dalekohled. Pátý díl pak obsahuje proměnné hvězdy s minimální jasností vyšší než sedmé magnitudy. Vyjma sedmého dílu tento atlas proměnných hvězd vycházel mezi lety 1899 a 1908. Vzhledem k těmto pozdním datům je toto dílo zařazeno chronologicky, nikoli způsobem pozorování — Hagen vytvářel svůj atlas bez použití fotografie [60].

Každá mapa v atlasu obsahuje jednu či více (většinou více) proměnných hvězd. Kvůli tomu jsou mapy různě velké. Většina plochy map pátého dílu je pokryta jen hvězdami do páté magnitudy, jen blízké okolí proměnných hvězd je zaplněno hvězdami až po sedmou magnitudu. K mapě dodává Hagen informace o znázorněných hvězdách: Bayerovo značení, Flamsteedovo a BD číslo, pozici pro rok

1900. Dále magnitudy z Potsdamu a Harvardu, pro jižní hvězdy z *Uranometria Argentina* [60].

## 9.6 Fotoelektrická fotometrie proměnných hvězd

Stejně jako v případě fotografie, i tato nová metoda posunula studium proměnných hvězd. Joelu Stebbinsovi se podařilo roku 1909 objevit sekundární, podstatně mělčí, zákryt Algolu, viz kapitola Fotokonduktivní články. Během dalších let systematicky měřil zákrytové dvojhvězdy. Například během roku 1911 sledoval  $\beta$  Aur,  $\alpha$  Gem,  $\xi$  UMa,  $\delta$  Ori,  $\alpha$  Ori,  $\alpha$  UMi, dalšího roku pak přidal  $\iota$  Ori,  $\alpha$  Vir a  $\beta$  Sco [46].

Roku 1913 Paul Guthnick pozoroval slabé změny jasnosti u  $\beta$  Cep, kterou ovšem určil jako hvězdu typu RR Lyr. Roku 1914 pak pozoroval změny u rotující magnetické hvězdy  $\alpha^2$  CVn. Kromě těchto úspěšných pozorování však vinou systematických chyb mezi různými nočními podmínkami mylně označil řadu hvězd jako proměnných.

Mezi lety 1919 a 1922 působila na Lick Observatory až do dokončení svého doktorátu Edith Cummings. Jejím hlavním pozorovacím cílem byla  $\beta$  Cep, která byla v této době řazena k cefeidám. Cefeidy jako celek pak byly považovány za dvojhvězdy. Podařilo se jí naměřit křivku této proměnné hvězdy, kterou jasně ukázala, že se nepodobá cefeidám, ani že se s největší pravděpodobností nemůže jednat o dvojhvězdu.

# 10. Použití CCD

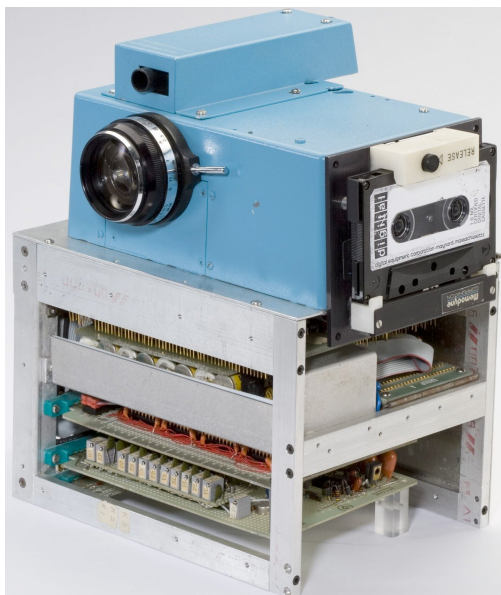
## 10.1 Vývoj prvních čipů

V dubnu 1970 W. S. Boyle a G. E. Smith vydali článek v *Bell Systems Technical Journal* o novém konceptu polovodičových zařízení. Jednalo se o silikonový (Si-SiO<sub>2</sub>) čip schopný uchovávat náboj v potenciálových jámách. Taktéž bylo možné náboj přesouvat, právě pomocí přesunů potenciálových minim. Autoři navrhli několik možných využití — posuvný registr, zobrazovací zařízení, řešení logických problémů a zařízení k detekci světla. Právě tento poslední navrhovaný účel se stal klíčovým pro astronomii [61].

Z názvu článku *Charge Coupled Semiconductor Devices* vzniklo označení tohoto čipu — CCD, v případě detekčního využití známé často jako CCD detektor nebo CCD kamera.

Roku 2009 dostali oba muži za objev CCD Nobelovu cenu za fyziku [62].

Už v srpnu 1970 vznikl první funkční posuvný registr na principu CCD [63] a během následujících pár let se technologický vývoj rozběhl kupředu mílovými kroky. V roce 1973 už byly první CCD čipy komerčně dostupné — firma Fairchild Semiconductor začala vyrábět čipy s plochou 100 × 100 pixelů; následovaly 100 × 160 a 400 × 400 CCD čipy pro Jet Propulsion Laboratory vyráběné firmou Texas Instruments [28].



Obrázek 10.1: První digitální fotoaparát z roku 1975 [Obr. 31]

### 10.1.1 První digitální fotoaparát

Steven Sasson nastoupil roku 1975 ke Kodaku. Pracoval na pokusu o vytvoření fotoaparátu se snímacím médiem v pevném skupenství. Vzhledem k neexistenci

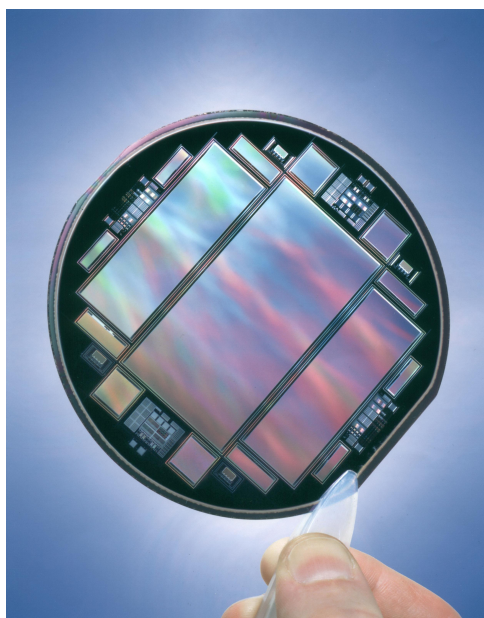
podobného zařízení — jediný podobný fotoaparát z roku 1972 byl sice bez filmu, ale stále analogový — hledal Sasson, kde se dalo. Využil CCD čip od Fairchildu z roku 1973, stejně jako další součástky z různých jiných projektů. V prosinci byl první fotoaparát hotový (viz Obr.10.1). Oproti dnešním přístrojům to bylo monstrum — fotoaparát vážil čtyři kilogramy. Trvalo však ještě dlouhou dobu, než se digitální fotoaparáty objevily na trhu. Navíc to ani nebyl Kodak, kdo s nimi začal, byť to bylo v této firmě, kde první fotoaparát na bázi CCD čipů vznikl [64] [65].

### 10.1.2 První využití v astronomii

Už v roce 1975 se začaly CCD čipy používat v rámci astronomických měření — Roger Lynds na Kitt Peak a Edwin Loh s Davidem Wilkinsonem v Princetonu. O něco později pak Bev Oke na Palomaru použil RCA-JPL CCD pro spektroskopii na tavném pětmetrovém dalekohledu (Hale Telescope) [28].

## 10.2 Technická vylepšení

Během pár let CCD detektory plně nahradily fotografické filmy (které dříve nahradily fotografické desky). Fotoelektrické články vydržely trochu déle, ale s přelomem tisíciletí už také byly plně nahrazeny CCD [66]. Jakékoli další typy detektorů z druhé poloviny dvacátého století se ani nestihly uchytit — jeden druh televizní kamery, SEC vidicon, byl například zvažován jako detektor pro Hubbleův teleskop, ovšem nakonec byl upřednostněn CCD detektor [28].



Obrázek 10.2: CCD detektor k astronomickému využití [Obr. 32]

První CCD kamery zobrazovaly jen malou oblast, měly silný šum a nízké rozlišení, to vše za vysokou cenu. Během let se CCD kamery vyrovnaly klasickým filmům, v některých oblastech je dokonce překonaly. CCD detektory jsou



mnohem citlivější než film — jejich kvantová účinnost je okolo 20 až 30 procent u klasických fotoaparátů, u astronomických CCD detektorů pak může dosahovat 60 až 80 procent, devadesáti na některých vlnových délkách. Ve srovnání s tím velmi kvalitní fotografické filmy dosahují kvantové účinnosti 3 až 5 procent.

CCD detektory také mají lineární odezvu na světlo, což je předurčilo k fotometrickým měřením. Dlouhodobým problémem fotografické a fotoelektrické fotometrie byl právě vztah vlnové délky a odezvy na různých použitých materiálech, většinou značně nelineární. Různé filtry, jejich systémy a převody mezi nimi jsou toho důkazem. S příchodem lineárního detektoru konečně lze snadno porovnat jasnosti dvou hvězd na základě přichozích dat.

Tato nová technologie také pomohla astrometrii — velmi přesné a stále rozměry čipů umožňují ze snímků získat přesné polohy objektů. Podobnou přesnost měly naposledy skleněné fotografické desky. Oproti nim se však CCD data dají použít na přesnou astrometrii a fotometrii zároveň. A jako výhoda moderní doby, data jsou automaticky digitální, okamžitě zpracovatelná na počítači [66].

### 10.3 Současnost

Technologie CCD je dnešní nejmodernější metoda detekce světla. Vyvinula se už dostatečně na to, aby plně nahradila všechny své starší konkurenty. Její vývoj však i nadále pokračuje — ať už se jedná o optimalizaci výroby čipů, nebo tvorbu moderního softwaru, který získaná data vyhodnocuje.

# 11. Oblasti fotometrie

Lidské oko bylo po dlouhé věky jediným prostředkem k pozorování oblohy, vlastně čehokoli. Pro člověka je snadné říct, která hvězda je jasná a která naopak slabá. Ty které nevidí samozřejmě popsat nemůže. Tato hranice viditelnosti byla tím jediným, co se změnilo s příchodem dalekohledu. Až teprve vynález fotografie ukázal rozdíly mezi vnímáním světelného signálu okem a jakýmkoli jiným médiem. V podobné době první fotometry přivedly na svět dvě metody fotometrie — do té doby víceméně výhradně používanou relativní fotometrii a počínající absolutní fotometrii.

## 11.1 Radiometrie

Radiometrie se dá označit za disciplínu nadřazenou fotometrii. Zabývá se měřením elektromagnetického záření, stejně jako fotometrie. Na rozdíl od ní však nezkoumá vnímání tohoto záření lidským okem. Měří jeho sílu, polarizaci či spektrální složení.

Fotometrie je tedy jednou ze složek radiometrie — a vzhledem k limitaci technologie našich předků se jedná o její nejranější formu.

Měřícím přístojem radiometrie je obecně radiometr, fotometrie fotometr — ten je tedy radiometrem beroucím v potaz vlastnosti lidského oka. Označení fotometr se však používá i pro jiné přístroje měřící záření, ne vždy nějak související s okem.

### 11.1.1 Milníky radiometrie

Jedním z hlavních hnacích motorů radiometrie v jejích počátcích v osmnáctém a devatenáctém století, tedy v zásadě fotometrie, bylo právě určování jasnosti hvězd. William Herschel objevil roku 1800 infračervené záření sledováním teploměřů v rozloženém slunečním záření. Roku 1802 objevil Johann Ritter ultrafialové záření za pomoci chemické reakce na světlo, probíhající i za hranicí modrého světla. V roce 1864 pak Maxwell vyvinul teorii elektromagnetismu.

Ke konci devatenáctého století došlo k vývoji detektorů záření měřících jen v částech rozptýleného spektra. Další vývoj vedl ke studování záření černého tělesa. Celkem brzy byl zjištěn profil intenzity záření, strmě stoupající z nízkých vlnových délek, dosahující maxima a dále klesající. Až Max Planck však toto chování vysvětlil za pomoci prvních náznaků kvantové teorie [67].

## 11.2 Absolutní fotometrie

Historicky mladší odnož fotometrie se více podobá radiometrii. Cílem absolutní fotometrie je určit celkovou jasnost měřeného zdroje. Do toho samozřejmě vstupuje řada okolních vlivů. Zatímco v případě relativní fotometrie lze pro dvojici hvězd na téže obloze předpokládat stejné podmínky, absolutní fotometrii zajímá celkové množství přichozících fotonů, nezávisle na atmosféře, okolním osvětlení či vlastnostech použitého dalekohledu.

Steinheil opravoval jasnosti hvězd ve svých měřeních na jasnost v zenitu, čímž se snažil dosáhnout stejných podmínek. Stále se však takto nezbavil celého vlivu

atmosférické extinkce, rozdílů mezi vlastnostmi vzduchu za různých nocí, přítomnosti okolních zdrojů světla — historicky Měsíce, nyní častěji světelného znečištění.

Výsledkem absolutní fotometrie je informace o příchozím světle. Navíc však musí dojít ke kalibraci na nějaký systém jasností, v případě hvězd na magnitudy. Tato kalibrace je však i problémem relativní fotometrie.

### 11.3 Relativní fotometrie

Jak již název napovídá, relativní fotometrie se neptá, jak je objekt jasný, ale jestli je jasnější než nějaký jiný. Popřípadě o kolik. Všechny metody na bázi lidského oka využívají jeho schopnosti rozeznat rozdíl, respektive shodu, mezi dvěma zdroji světla. Ať už se jednalo o prosté srovnávání na obloze, později za pomoci dalekohledu, nebo porovnávání dvou hvězd či hvězdy a umělého zdroje ve fotometru. Ostatně jedno z nejpřesnějších měření (Williamem Herschelem) před příchodem fotometru bylo provedeno nikoli určováním magnitud, ale jen porovnáváním proti blízkým hvězdám.

### 11.4 Kalibrace fotometrů

A právě kvůli rozdílům v chápání magnitudy bylo nutno zavést nějakou kalibraci. Hledala se taková, aby jakž takž souhlasila s historickými hodnotami, například v Almagestu či pozdějších velkých katalozích. Dalším velkým krokem vpřed bylo zavedení jednotné definice magnitudy, tak trochu bez veřejné debaty byla zvolena ta Pogsonova, viz výše. Ani to však nestačilo k jasnému postupu v určování jasností hvězd. Měření pomocí fotografických desek a později fotoelektrických prvků ukázalo nutnost akcentace různých jasností hvězd v různých částech spektra. Posledním řešením se stal systém UBV a jeho vylepšení, viz Fotometrické systémy.

## 12. Moderní projekty

Fotometrická pozorování pokračují i do dnešní doby. Jak již bylo zmíněno dříve, veškerá detekční technologie se přesunula téměř výhradně k CCD čipům. Došlo však k jedné klíčové změně — kromě pozemských dalekohledů mohou fotometrickou činnost vykonávat i dalekohledy ve vesmíru. Samozřejmě nejsou jediné — mnoho pozorování se dá provádět mnohem levnějšími přístroji ze zemského povrchu.

Obecně narostlo množství dostupných dat. Například díky CDS, založeném v roce 1972, se dnes dá dostat k nepřehlednému množství katalogů a v nich uloženým fotometrickým datům. CDS bylo založeno jako *Stellar Data Centre* a v roce 1983 se přejmenovalo na *Strasbourg astronomical Data Centre*, v originále *Centre de Données astronomiques de Strasbourg*, (Štrasburské astronomické datové centrum), zachovávajíc původní zkratku.

Jak se zlepšovala technologie — příchod dalekohledu, později fotografie či fotoelektrických článků — zvětšovaly se celooblohové katalogy. S příchodem družic však narostly o několik řádů. Jeden z prvních katalogů v historii, *Almagest*, obsahoval okolo jednoho tisíce objektů. Jeho předpokládaný předobraz – katalog Hipparchův – měl jen o něco málo méně. O více jak dvě tisíciletí později však Hipparchův jmenovec nasbíral data pro katalog stokrát větší.

### 12.1 Družice HIPPARCOS

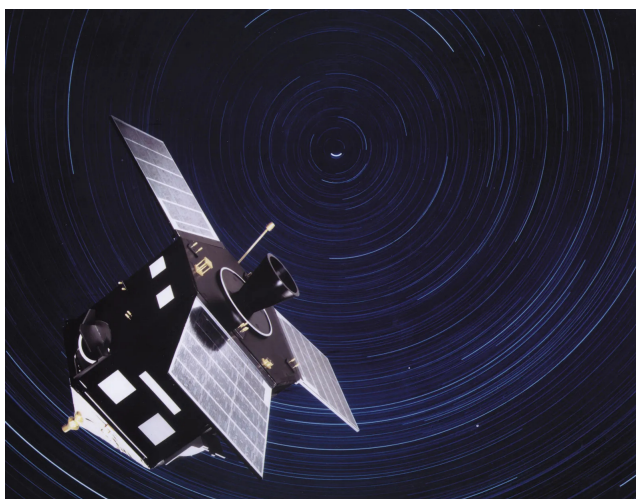
Družice HIPPARCOS (HIGH Precision PARallax COLlecting Satellite) byla vypuštěna agenturou ESA v srpnu 1989. Operovala tři a půl roku, do března 1993 [68].

Hlavním cílem projektu nebyla fotometrie, ale astrometrie — Hipparcos měřil pozice, vlastní pohyby a odhadoval vzdálenosti více než 100 000 hvězd v bližším okolí Slunce. Výsledkem měření byly dva hvězdné katalogy, obsahující tato data, stejně jako fotometrické vlastnosti. Katalog Hipparcos byl dokončen v srpnu 1996 a vydán červnu 1997. Druhý z nich, katalog Tycho byl dokončen a vydán ve stejné době [69].

Družice Hipparcos se nacházela mimo atmosféru, což umožnilo vyhnout se klasickým problémům měření ze zemského povrchu – seeingu či gravitačnímu a tepelnému působení na přístroje.

#### 12.1.1 Katalog Hipparcos

Katalog obsahuje 118 218 položek, z nichž pro 117 955 existuje astrometrie a pro 118 204 fotometrie. Nejvyšší dosažená magnituda byla  $V \sim 12.4$ . Vydán byl jako sedmnáctidílný, obsahuje samotný hlavní katalog, dále katalog dvou- a vícenásobných hvězdných systémů, katalog proměnných hvězd, mapy pro slabé objekty či přeplněné oblasti, světelné křivky pro neproměřené proměnné hvězdy a plnohodnotný hvězdný atlas.



Obrázek 12.1: Vyobrazení družice Hipparcos [Obr. 33]

Fotometrická měření se skládala z Johnsonovy magnitudy  $V$ , s přesností cca 0.01 mag, širokopásmou  $Hp$ , tj. Hipparcos magnitudu s mediánem přesnosti pro hvězdy jasnější deváté magnitudy 0.0015 mag. Dále dvoubarevné  $B_T$  a  $V_T$  magnitudy; barevné indexy  $B - V$  a  $V - I$ .

Pro každou hvězdu bylo za tři roky pozorování provedeno v průměru 110 měření [69].

### 12.1.2 Katalog Tycho

Měření pro katalog Tycho byla provedena taktéž pomocí družice Hipparcos. Cílem bylo provést astrometrická a fotometrická měření nejjasnějších hvězd na obloze. Fotometrické měření bylo provedeno pomocí dvou barevných kanálů  $B_T$  a  $V_T$ , již zmíněných výše. Oba kanály zaznamenávaly počet fotonů a data zesílena fotonásobiči putovala na Zemi.

Původním cílem bylo zmapovat hvězdy v GSC (Guiding Star Catalog), určeném k navigaci Hubbleova teleskopu. Mise však pokračovala v měření dalších hvězd, čímž katalog Tycho dosáhl více jak milionu položek.

Celkem bylo naměřeno 1 058 332 hvězd, z čehož pro 6301 z nich jsou data pouze z programu Hipparcos. Nejvyšší dosažená magnituda byla  $V \sim 11.5$ . Fotometrická data obsahují Johnsonovu  $V$  magnitudu,  $B - V$  index a dvoubarevné  $B_T$  a  $V_T$  magnitudy. Index  $B - V$  je určen transformací z barevného indexu  $B_T - V_T$ . Konkrétní informace o transformaci a systému  $B_T$  a  $V_T$  jsou uvedeny v samotném katalogu.

Katalog Tycho byl vydán jako součást výše zmíněné sedmnáctidílné publikace katalogu Hipparcos [70].

V roce 2000 byl dokončen katalog Tycho 2, s podstatně vyšším počtem hvězd — 2 539 913 hvězd tvoří 99 % všech hvězd do jedenácté magnitudy [68].

## 12.2 Projekt Gaia

V roce 2013 startovala mise Gaia, taktéž pod záštitou ESA. Umístěna byla na oběžnou dráhu okolo Lagrangeova bodu L2, kde dosud sleduje oblohu s periodou jedné plné přehlídky za šest hodin.

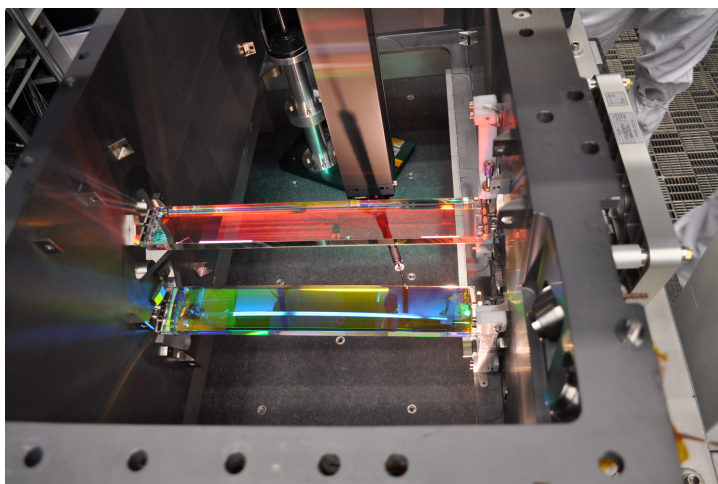
Stejně jako v předchozím případě bylo cílem měření pozic, vzdáleností a jasností hvězd v naší galaxii, v případě projektu Gaia i dále. Rozsah mise však je mnohem větší — Gaia vytváří detailní 3D mapu všech hvězd do dvacáté magnitudy, což odpovídá circa miliardě objektů.

Přesnost určení polohy je  $26 \mu\text{arcsec}$  pro hvězdy patnácté magnitudy, řádově stonásobná než u družice Hipparcos na jejím limitu jasnosti.

Fotometrická měření jsou prováděna dvojicí hranolů rozptylujících přicházející světlo. Jeden z nich, označený BP – Blue Photometer – měří ve vlnových délkách 330 – 680 nm a druhý – RP, Red Photometer – ve 640 – 1050 nm. Následně světlo snímá čtrnáct CCD kamer.



Obrázek 12.2: Vyobrazení družice Gaia [Obr. 34]



Obrázek 12.3: Vyobrazení červeného a modrého fotometrického hranolu družice Gaia [Obr. 35]

Celkem už bylo provedeno více jak 395 miliard fotometrických měření pro 1.4 miliard objektů (k roku 2018). To je však jen část plného rozsahu, protože celkový plánovaný katalog má obsahovat, jak již bylo výše zmíněno, přes miliardu objektů — což, při množství měření jasnosti jedné hvězdy, povede k mnohem většímu číslu.

Výsledky mise by měly přinést lepší vhled do struktury, a to jak prostorové tak i dynamické, naší galaxie; přehled exoplanet, řádově kolem 7000; přehled objektů v naší Sluneční soustavě — v tuto chvíli je pozorováno na 250 000 asteroidů, převážně v hlavním pásu; standardy pro měření vzdáleností v Magellanových mračnecích; měření supernov, detekci kvasarů či mikročoček [71].

# 13. Fotometrické přístroje v České republice

V dnešní době jsou všechny dalekohledy v České republice, určené k vědecké práci, opatřené CCD kamerou. Ta je samozřejmě i hlavním detekčním zařízením pro fotometrii. Ne všechny z našich větších dalekohledů jsou však k tomuto účelu používány.

Jak již bylo několikrát naznačeno výše, dnes jsou nejčastějším cílem fotometrických měření proměnné hvězdy, popřípadě se pomocí fotometrie hledají exoplanety. To platí i pro české observatoře — na mnohá z těchto měření stačí menší dalekohled a je zbytečné na tato pozorování zabírat pozorovací čas na velkých světových dalekohledech. A tak astronomové, amatérští i profesionální, pokračují v naplňování Argelanderovy prosby z roku 1844 (viz podkapitola Systematické pozorování v kapitole o pozorování proměnných hvězd).

Vzhledem k tomu, že se dnes jako detektorů používá téměř výhradně CCD kamer<sup>1</sup>, je mnohem zajímavější pohled na dalekohledy, ke kterým jsou tato zařízení připevněna. Následuje seznam dalekohledů používaných k fotometrickým měřením s průměrem větším než 30 cm. Samozřejmě existuje mnoho dalších pozorovatelů či hvězdáren, převážně amatérských, které provádějí fotometrická měření i s menšími dalekohledy. Jejich seznam by však byl neúnosně velký.

Vzhledem k převládajícímu zájmu o pozorování proměnných hvězd je pro kompletnější přehled pozorovatelů vhodná například Sekce proměnných hvězd a exoplanet České astronomické společnosti, viz [72].

## 13.0.1 Mayerův dalekohled, Ondřejov

Jedná se o reflektor o průměru primárního zrcadla 650 mm, s ohniskovou vzdáleností 2675 mm (viz Obr.13.1). Je osazen CCD kamerou G2-3200 s čipem Kodak KAF-3200ME. Je schopen pozorovat objekty až s jasností  $\sim 21.5$  mag. Dalekohled byl vyroben roku 1962 a dosud byl dvakrát modernizován (1993-1996, 2009).

Používán je Oddělením meziplanetární hmoty AsÚ a Astronomickým ústavem UK. V rámci studia asteroidů je využíván právě i k jejich fotometrickému měření [73].

## 13.0.2 Observatoř na Kraví hoře

Observatoř je nyní součástí Hvězdárny a planetária Brno (od roku 2020). Původně patřila pod Masarykovu univerzitu v Brně, založena jejím Astronomickým ústavem v roce 1948. Už od svého vzniku byla určena k fotometrickým měřením — až do devadesátých let používali fotoelektrický fotometr. Ten byl nahrazen CCD kamerou. Mezi lety 2007 a 2012 proběhla kompletní rekonstrukce, doplněná roku 2013 automatizací dalekohledu.

---

<sup>1</sup>Samozřejmě se nedá zapomínat na vizuální pozorování, které, byť je na mnohých dalekohledech u nás ještě stále možné, se k odborné činnosti nevyužívá.



Hlavním dalekohledem je reflektor s průměrem primárního zrcadla 600 mm a ohniskovou vzdáleností 2780 mm. Používá CCD kameru G2-4000 s UVBRI filtry [74].

### **13.0.3 Hvězdárna Jaroslava Trnky ve Slaném**

Na hvězdárně probíhá výzkum exoplanet a proměnných hvězd. Hlavním dalekohledem je od roku 2000 zrcadlový dalekohled typu Cassegrain o průměru primárního zrcadla 500 mm a s ohniskovou vzdáleností 7800 mm [75].

### **13.0.4 Štefánikova hvězdárna, Praha**

Ve východní kopuli je umístěn robotický dalekohled MARK (modifikovaný Meade LX 200) o průměru primárního zrcadla 406 mm a ohniskové vzdálenosti 4064 mm. Připevněna je na něm CCD kamera SBIG ST10XME. Je využíván k pozorování proměnných hvězd [76].

### **13.0.5 Hvězdárna a planetárium Hradec Králové**

Z většího množství teleskopů na této hvězdárně je jeden z nich používán k fotometrii. Dalekohled Jana Šindela je zrcadlový dalekohled o průměru primárního zrcadla 400 mm a ohniskové vzdálenosti 2000 mm. Je využíván pro astrometrii komet a fotometrii proměnných hvězd a planetek [77].

### **13.0.6 Prostějovská hvězdárna**

Hlavním dalekohledem je reflektor typu Newton o průměru 400 mm s ohniskovou vzdáleností 1715 mm [78]. V kombinaci se CCD kamerou G2-402BVRI je používán k pozorování proměnných hvězd [79].

### **13.0.7 Hradec Králové – SKYMASTER**

Soukromá amatérská hvězdárna s působností od roku 2003. Podobně jako v předchozích případech pozoruje proměnné hvězdy. Hlavním dalekohledem je Celestron CGE 1400 se systémem Schmidt-Cassegrain o průměru primárního zrcadla 356 mm a ohniskovou vzdáleností 3910 mm. Využívá CCD kameru SBIG ST-2000XM [80].

### **13.0.8 Hvězdárna Valašské meziříčí**

Hvězdárna začala svou fotometrickou činnost v devadesátých letech. Využívala se fotografická metoda, která byla nahrazena roku 1997 CCD kamerou. Pro odbornou činnost se dnes používá reflektor Celestron Schmidt-Cassegrain s průměrem primárního zrcadla 355 mm a ohniskovou vzdáleností 3550 mm. Stejně jako v předchozích případech se pozorují proměnné hvězdy [81].

### 13.0.9 Veltěže u Loun

V rámci Sekce proměnných hvězd a exoplanet České astronomické společnosti působí Zdeněk Henzl z Veltěží u Loun [82]. Používá reflektor typu Newton o průměru 305 mm a ohniskové vzdálenosti 1200 mm se CCD kamerou G2-8300 [83].

### 13.0.10 Hvězdárna a planetárium Johanna Palisy

Ve spolupráci s hvězdárnou v Ostravě fungoval mezi lety 1997 a 2009 projekt Eridanus, pozorující proměnné hvězdy. Využívány byly hlavní dalekohledy observatoře, s hlavním automaticky naváděným dalekohledem Meade LX200 GPS 12" s primárním zrcadlem průměru 300 mm a ohniskovou vzdáleností 3000 mm. Použité CCD kamery byly SBIG ST-8XME, Meade Pictor 416XTE a SBIG ST-7 [84].

### 13.0.11 Hvězdárna Vsetín

Od roku 2003 probíhá na hvězdárně fotometrie komet. CCD kamera G2-1600 je namontovaná na reflektoru o průměru primárního zrcadla 300 mm a ohniskové vzdálenosti 1690 mm. Před rokem 2012 byly používány i menší dalekohledy a CCD kamera SBIG-ST7 [85].

### 13.0.12 BS Observatory

Soukromá hvězdárna nedaleko Zlína. Pozoruje proměnné hvězdy a přechody exoplanet. Hlavním dalekohledem je reflektor o průměru primárního zrcadla 300 mm a ohniskové vzdálenosti 1200 mm. Používána je CCD kamera Moravian Instruments G4-16000 [86].



Obrázek 13.1: Mayerův dalekohled na Ondřejovské hvězdárně [Obr. 36]

# Závěr

Stejně jako ostatní vědecké disciplíny, i astronomie se stále vyvíjí. Od časů Hipparcha se toho dost změnilo. Naši předkové umně využívali oblohy k určování času i své polohy. Z hvězd tvořili obrazce – souhvězdí, často mytického charakteru, které mimo jiné sloužily pro orientaci na obloze.

Pokusy o katalogizování hvězd začaly již v antickém Řecku, možná i dříve. Základem pro tuto práci se stala právě souhvězdí. Jejich nejjasnější hvězdy byly sepsány do prvních katalogů a jim odpovídajících atlasů, mimo jiné právě Hipparchem a později Ptolemaiem.

Ptolemaiov *Almagest* se stal na dlouhá staletí nejvýznamnějším dílem svého druhu. Sepisování poloh a jasností hvězd bylo jen jednou z částí práce astronoma té doby. Těžiště výzkumu se v raném středověku přesunulo do oblasti blízkého východu a severní Afriky a prvním krokem byl právě překlad Ptolemaiova díla do arabštiny. Nové katalogy sice vznikaly — například Kniha stálic od perského astronoma al-Súfiho — ale byly nanejvýš srovnatelné s jejich řeckým předchůdcem.

Do Evropy se astronomické bádání vrátilo s renesancí, společně s arabskými díly. Prvním srovnatelným dílem s těmito katalogy byla práce dánského astronoma Braheho, na jehož základě vznikl atlas *Uranometria*. Ve stejné době, na počátku sedmnáctého století, nastala první revoluce v astronomii. S vynálezem dalekohledu se lidem podařilo spatřit slabší hvězdy než dosud a další katalogy tak začaly růst v počtu objektů, jak rostl průměr čoček.

Určování jasností hvězd bylo po celou dobu záležitostí odhadu okem. V duchu tradice antického Řecka se používala jednotka magnitudy, postupem času rostoucí mimo původní škálu od jedné do šesti. Postupem doby však vyvstávaly problémy se sjednocením těchto měření. Hodnoty byly značně individuální, stejně jako chápání samotné škály. Roku 1850 zavedl Norman Pogson matematickou definici magnitudy, čímž alespoň na nějakou dobu zajistil srovnatelná fotometrická měření.

Během devatenáctého století se toho dost změnilo. Byly vyvinuty první vizuální fotometry, které napomohly přesnějším odhadům. Katalogy narostly do řádů stovek tisíc položek. A především došlo k vynalezení fotografie.

Fotografická fotometrie umožnila zachování obrazu, čímž se určování jasností stalo detailnějším a přesnějším. Vedla však i k problémům. Magnitudy měřené pomocí fotografie se často lišily od těch měřených okem.

Na přelomu století se objevila nová revoluční metoda, která tento problém ještě prohloubila. Fotoelektrické články se staly další klíčovou metodou pro fotometrii dvacátého století.

V devatenáctém a dvacátém století prošla fotometrie mnoha proměnami. S příchodem teoretické astronomie – astrofyziky – se začaly vysvětlovat rozdílné jasnosti v různých médiích, ať už optickém, fotografickém či fotoelektrickém. Vznikaly hvězdné standardy pro určování magnitud. Největší z nich, Severní polární

sekvence, padl až společně s největším fotometrickým projektem své doby, obřím fotografickým katalogem *Carte du Ciel*.

Jejich koncem byly právě spektrální vlastnosti hvězd a pozorovacích médií. V polovině dvacátého století vyvrcholila snaha o pozorování v konkrétních barevných filtrech, které umožňovaly srovnání jednotlivých měření díky shodným vlnovým délkám. Standardem pro určování magnitud se stal systém UBV, respektive jeho rozšíření do infračervené oblasti.

Ve druhé polovině dvacátého století byly vynalezeny CCD čipy, které počtvrté změnilly astronomickou fotometrii. Do dnešní doby stihly nahradit všechny své předchůdce a staly se víceméně jedinými detektory jasnosti hvězd. Také obří fotometrické projekty došly do úspěšného konce. Družice Hipparcos, pojmenovaná podle jednoho ze zakladatelů fotometrické astronomie, přinesla přes milion změřených hvězd. Jejím nástupcem je dodnes sloužící družice Gaia.

V průběhu staletí se zlepšovala přesnost měření. Nové technologie napomohly rozšířit katalogy o stále slabší a slabší hvězdy. A fotometrie jako taková umožnila hledání všemožných objektů v našem vesmíru. Dnes společně s astrometrickými měřeními napomáhá kartografii blízkého okolí Sluneční soustavy. Sama se detailně zabývá světelnými křivkami proměnných hvězd, komet či planetek. Dokonce napomáhá hledat exoplanety.

A v budoucnu? Jak se bude zlepšovat naše technologie,lepší se i naše možnosti v oblasti fotometrie. Kdo ví, co ještě objevíme.

# Seznam použité literatury

- [1] H. E. Rogers. Origins of ancient constellations: I. The Mesopotamian traditions. *Journal of the British Astronomical Association*, 108(1):9–28, 1998.
- [2] *Exhibition of the sculptured Zodiac of Dendera*. J. Haddon, London: Castle Street, Finsbury, 1825. epitome.
- [3] A. F. Shore. Egyptian Cartography. In J. B. Harley and David Woodward, editors, *The History of Cartography*, volume 1, chapter 7. University of Chicago Press, Chicago, 1987.
- [4] R. Miles. A light history of photometry: from Hipparchus to the Hubble Space Telescope. *Journal of the British Astronomical Association*, 117(4):172–186, 2007.
- [5] Alexander Raymond Jones. Hipparchus. <http://www.britannica.com/biography/Hipparchus-Greek-astronomer>. (2022-03-03).
- [6] J. J. O'Connor and E. F. Robertson. Eudoxus of Cnidus. <http://www.mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Eudoxus/>, duben 1999. (2022-03-05).
- [7] The Editors of Encyclopaedia. Aratus. <http://www.britannica.com/biography/Aratus-Greek-poet/>. (2022-03-03).
- [8] Jessica Lightfoot. Hipparchus' Didactic Journey: Poetry, Prose, and Catalogue Form in the Commentary on Aratus and Euxodus. *Greek, Roman, and Byzantine Studies*, 57:935–967, 2017.
- [9] H. Spencer Jones. Stellar Magnitudes and their Determination. *Nature*, 107:142–146, 1921.
- [10] Bradley E. Schaefer. The epoch of the constellations on the Farnese Globe and their origins in Hipparchus's lost catalogue. *Journal for the History of Astronomy*, 2005.
- [11] Dennis W. Duke. Analysis of the Farnese Globe. *Journal for the History of Astronomy*, 37:87–100, 2006.
- [12] Nigel Henbest and Heather Couper. *Dějiny astronomie*. Euromedia Group, Praha, 2009. Z anglického originálu *The History of Astronomy*.
- [13] O. A. W. Dilke. The Culmination of Greek Cartography in Ptolemy. In J. B. Harley and David Woodward, editors, *The History of Cartography*, volume 1, chapter 11. University of Chicago Press, Chicago, 1987.
- [14] Ihsan Hafez. *Abd al-Rahman al-Sufi and his book of the fixed stars: a journey of re-discovery*. PhD thesis, James Cook University, 2010.
- [15] Dennis W. Duke. Associations Between the Ancient Star Catalogues. *Archive for History of Exact Sciences*, 56:435–450, 2002.

- [16] Dennis W. Duke. The Measurement Method of the *almagest* Stars. *DIO: the International Journal of Scientific History*, 12, 2002.
- [17] Rogers J. Clifford, William Caferro, and Shelley Reid. *The Oxford Encyclopedia of Medieval Warfare and Military Technology*, volume 1. Oxford University Press, 2010.
- [18] Jean-Pierre Luminet. *Uluh Beg, Prince of Stars*. duben 2018.
- [19] Maggie Patton. Southern Stars. <http://www.sl.nsw.gov.au/blogs/southern-stars/>. (2022-03-12).
- [20] Anna Friedman Herlihy. Renaissance Star Charts. In J. B. Harley and David Woodward, editors, *The History of Cartography*, volume 3, chapter 4. University of Chicago Press, Chicago, 2007.
- [21] Ian Ridpath. Alessandro Piccolomini’s star atlas. <http://www.ianridpath.com/startales/piccolomini.html>. (2022-03-12).
- [22] Ian Ridpath. Tycho Brahe’s great star catalogue. <http://www.ianridpath.com/startales/tycho.html>. (2022-03-12).
- [23] Ian Ridpath. Bayer’s Uranometria, Hevelius and the Firmamentum Sobiescanium. <http://www.ianridpath.com/startales/startales2b.html>. (2022-03-12).
- [24] Shane Horvatin. Apis. [http://web.pa.msu.edu/people/horvatin/Astronomy\\_Facts/obsolete\\_pages/apis.htm](http://web.pa.msu.edu/people/horvatin/Astronomy_Facts/obsolete_pages/apis.htm). (2022-03-13).
- [25] Hartmut Frommert. Johan Hevelius. <http://www.messier.seds.org/xtra/Bios/hevelius.html>. (2022-03-13).
- [26] Hartmut Frommert. John Flamsteed. [messier.obspm.org/xtra/Bios/flamsteed.html](http://www.messier.seds.org/xtra/Bios/flamsteed.html). (2022-03-13).
- [27] Ian Ridpath. Flamsteed’s Atlas Coelestis, Bode’s Uranographia. <http://www.ianridpath.com/startales/startales2c.html>. (2022-03-13).
- [28] J. B. Hearnshaw. *The measurement of starlight*. Cambridge University Press, 2005.
- [29] Ian Ridpath. Lacailles’s southern survey. <http://www.ianridpath.com/startales/startales1d.html>. (2022-03-13).
- [30] Georg Zotti, Susanne M. Hoffmann, Alexander Wolf, Fabien Chéreau, and Guillaume Chéreau. The simulated sky: Stellarium for cultural astronomy research. *Journal of Skyscape Archaeology*, 6(2):221–258, Mar. 2021.
- [31] Dennis Duke. the data as found in the *Almagest*, including the textual star descriptions. <https://people.sc.fsu.edu/~dduke/datafiles.htm>. (2022-04-18).

- [32] Johannes Kepler and Tycho Brahe. *Tabulæ Rudolphinæ, Quibus Astronomica Scientiæ, Temporum Longinquitate Collapsæ Restauratio Continetur*. Ulmae: Saurius, 1629.
- [33] Alessandro Piccolomini. *De le stelle fisse ... : dove di tutte le XLVII imagin celesti minutissimamente si tratta ...* ETH-Bibliothek Zürich, 1579.
- [34] Johann Bayer and Alexander Mair. *Ioannis Bayeri Uranometria omnium asterismorum continens schemata, nova methodo delineata aereis laminis expressa / tabulae in aes incidit Alexander Mair*. ETH-Bibliothek Zürich, 1603.
- [35] Johannes Hevelius. *J. Hevelii Prodrumus astronomiae cum Catalogo fixarum et Firmamentum Sobiescianum*. typis Johannis Zachariae Stollii, 1690.
- [36] John Flamsteed. *Historia Coelestis Britannica*. Meere, 1725.
- [37] Johann Elert Bode. *Allgemeine Beschreibung und Nachweisung der Gestirne: nebst Verzeichniss der geraden Aufsteigung und Abweichung von 17240 Sternen, Doppelsternen, Nebelflecken und Sternhaufen; (zu dessen Uranographie gehörig)*. Bode, Johann Elert, 1801.
- [38] Walter Balderston. Sir William Herschel and His Place in the History of Science. *Journal of the Royal Astronomical Society*, 55, leden 1961.
- [39] Reginald L. Waterfield. *Sto let astronomie*. Nakladatelské družstvo Máje, Praha, 1948.
- [40] Vishnu Reddy, Keith Snedegar, and Ram Kumar Balasubramanian. Scaling the magnitude: the fall and rise of N. R. Pogson. *Journal of the British Astronomical Association*, 117, říjen 2007.
- [41] David M. F. Chapman. Reflections: F. W. A. Argelander - Star Charts and Variable Stars. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 93, únor 1999.
- [42] Nick Kanas. *Star Maps: History, Artistry and Cartography*. Springer Science + Business Media New York, second edition, 2012.
- [43] Ian Ridpath. The Uranometria Nova of F. W. A. Argelander and the Atlas Coelestis Novus of Eduard Heis. <http://www.ianridpath.com/startales/argrelander-heis.html>. (2022-03-15).
- [44] John B. Hearnshaw. Nineteenth century visual photometers and their achievements. In C. Sterken and K. B. Staubermann, editors, *KARL FRIEDRICH ZOELLNER and the historical dimension of astronomical photometry*, volume 6, chapter 1. The Journal of Astronomical Data (JAD), 2000.
- [45] Joel H. Metcalf. Edward Charles Pickering (1846-1919). *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 57(18):502–506, 1922.
- [46] Barry B. Beaman and Michael T. Svec. Illinois – Where Astronomical Photometry Grew Up. *Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 40, 2012.

- [47] Joel Stebbins. The measurement of the light of stars with a selenium photometer, with an application to the variations of Algol. *Astrophysical Journal*, 32:185–214, 1910.
- [48] Joel Stebbins. The ellipsoidal variable star pi.05 orionis. *Astrophysical Journal*, 51:218–222, 1920.
- [49] Joel Stebbins. The ellipsoidal variable star b persei. *Astrophysical Journal*, 57:1–6, 1923.
- [50] G. A. Tammann. Wilhelm Becker (3. Juli 1907 - 20. November 1996). *Mitteilungen der Astronomischen Gesellschaft*, (80):9–11, 1997.
- [51] C. F. Trefzger, L. M. Cameron, A. Spaenhauer, and U. W. Steinlin. Empirical calibration of the RGU-system. *Astronomy and Astrophysics*, 117:347–351, leden 1983.
- [52] Hamamatsu Photonics K.K. *Photomultiplier Tubes – Basics and Applications*. Hamamatsu Photonics K. K., 3a edition, 2007.
- [53] H. L. Johnson and W. W. Morgan. Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the Revised System of the Yerkes Spectral Atlas. *Astrophysical Journal*, 117:313, květen 1953.
- [54] H. L. Johnson and W. W. Morgan. On the Color-Magnitude Diagram of the Pleiades. *Astrophysical Journal*, 114:522, listopad 1951.
- [55] John R. Percy. *Understanding Variable Stars*. Cambridge University Press, online edition, 2009.
- [56] Miroslav Šlechta. John Goodricke - objevitel zákrytových proměnných dvojhvězd. <https://stelweb.asu.cas.cz/~slechta/HISTORIE/goodricke/pro-ian/>. (2022-03-28).
- [57] Dorrit Hoffleit. A History of Variable Star Astronomy to 1900 and Slightly Beyond. *Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 15, 1986.
- [58] The instrument that discovered a planet. <https://www.planetary.org/space-images/blink-comparator>. (2022-03-29).
- [59] S. A: Mitchell. Atlas Stellarum Variabilium, Series VII. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 89, květen 1929.
- [60] J. A. Parkhurst. Atlas Stellarum Variabilium, Series V, by J. G. Hagen. *Astrophysical Journal*, 24, červenec 1906.
- [61] W. S. Boyle and Smith. G. E. Charge Coupled Semiconductor Devices. *Bell System Technical Journal*, 49:587–593, duben 1970.
- [62] The Nobel Prize in Physics 2009. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2009/summary/>. (2022-04-25).



- [63] M. F. Tompsett, G. F. Amelio, and G. E. Smith. Charge Coupled 8-BIT Shift Register. *Applied Physics Letters*, 17:111–115, srpen 1970.
- [64] James Estrin. Kodak’s First Digital Moment. <https://lens.blogs.nytimes.com/2015/08/12/kodaks-first-digital-moment/>, srpen 2015. (2022-04-25).
- [65] Ben Dobbin. Kodak engineer had revolutionary idea: the first digital camera. <https://web.archive.org/web/20120125133811/http://www.seattlepi.com/business/article/Kodak-engineer-had-revolutionary-idea-the-first-1182624.php>, září 2005. (2022-04-25).
- [66] Introduction to CCD Imaging. <https://www.gxccd.com/art?id=303&lang=409>, září 2011. (2022-04-25).
- [67] Raju Datla and Albert Parr. 1. Introduction to Optical Radiometry. *Experimental Methods in the Physical Sciences*, 41, prosinec 2005.
- [68] ESA. The Hipparcos Space Astrometry Mission. <https://www.cosmos.esa.int/web/hipparcos/home>. (2022-04-19).
- [69] M. A. C. Perryman et al. The HIPPARCOS Catalogue. *Astronomy and Astrophysics*, 323:L49–L52, červenec 1997.
- [70] E. Hoeg et al. The TYCHO Catalogue. *Astronomy and Astrophysics*, 323:L57–L60, červenec 1997.
- [71] ESA. gaia. <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia>. (2022-04-22).
- [72] Sekce proměnných hvězd a exoplanet České astronomické společnosti. <http://var2.astro.cz/index.php>. (2022-04-23).
- [73] Jana Žďárská. Mayerův dalekohled - Ondřejovská „pětašedesátka“ dostala své jméno. *Čs. čas. fyz.*, 69(4):297–298, 2019.
- [74] ÚTFA PřF MU. Observatoř na Kraví hoře. <https://astro.physics.muni.cz/observatory/>. (2022-04-23).
- [75] Hvězdárna Jaroslava Trnky ve Slaném. <https://www.hvezdarna-slany.cz/>. (2022-04-23).
- [76] Dalekohled MARK. <https://www.observatory.cz/mark/dalekohled.php>. (2022-04-23).
- [77] Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové. <http://www.astrohk.cz/hvezdarna.php>. (2022-04-23).
- [78] Muzeum a galerie v Prostějově, příspěvková organizace - Astronomické oddělení - Hvězdárna – Astronomické dalekohledy. <https://www.hvezdarnapv.cz/astronomicke-dalekohledy>. (2022-04-23).
- [79] Prostějov Observatory. <http://nyx.asu.cas.cz/dbvar/observset.phtml?obsa=rn&obs=>. (2022-04-23).

- [80] SKYMASTER v roce 2003 a 2004. <https://www.astro.cz/clanky/ostatni/skymaster-v-roce-2003-a-2004.html>. (2022-04-23).
- [81] Hvězdárna Valašské Meziříčí - Odborná činnost. <https://www.astrovm.cz/cz/odborna-cinnost.html>. (2022-04-23).
- [82] Sekce proměnných hvězd a exoplanet České astronomické společnosti - Proměnářská mapa. <http://var2.astro.cz/e-perseus-detail.php?id=1521796978&parent=obceni.php&lang=cz>. (2022-04-23).
- [83] Velteze u Loun. <http://nyx.asu.cas.cz/dbvar/observset.phtml?obsa=henzl&obs=>. (2022-04-23).
- [84] Projekt Eridanus. <https://web.archive.org/web/20090727153652/http://ostrava.astronomy.cz/uvo.php>. (2022-04-23).
- [85] Hvězdárna Vsetín - CCD fotometrie komet. <http://www.hvezdarna-vsetin.cz/pages/showpage164a.php?name=comet>. (2022-04-23).
- [86] BS Observatory. <http://www.bsobservatory.org/index.html>. (2022-04-23).

# Seznam použitých obrázků

- [Obr1] Gary Todd. Ancient Egypt Zodiac of Dendera. <https://www.flickr.com/photos/101561334@N08/28306172802/in/photostream/>, červenec 2016. (2022-03-05).
- [Obr2] Luciano Romano. The rebel god's punishment: the Farnese Atlas. [https://www.italianways.com/wp-content/uploads/2014/01/IW\\_Atlante-Farnese\\_02.jpg](https://www.italianways.com/wp-content/uploads/2014/01/IW_Atlante-Farnese_02.jpg), 2009. (2022-03-05).
- [Obr3] Ian Ridpath. Ptolemy's Almagest, First printed edition, 1515. <http://www.ianridpath.com/startales/almagest.html>. (2022-03-05).
- [Obr4] The overview of the astronomical instruments and staff of the Istanbul Observatory with Taqi Al-Din Rasid at work. [https://muslimheritage.com/sites/default/files/ottoman\\_geography\\_astronomy\\_01.jpg](https://muslimheritage.com/sites/default/files/ottoman_geography_astronomy_01.jpg). (2022-03-11).
- [Obr5] Al-Súfího atlas ze Strahovského kláštera. [http://www.manuscriptorium.com/apps/index.php?direct=record&pid=AIPDIG-KKPS\\_\\_DA\\_II\\_13\\_\\_\\_2TBK8S6-cs#search](http://www.manuscriptorium.com/apps/index.php?direct=record&pid=AIPDIG-KKPS__DA_II_13___2TBK8S6-cs#search), 1370. (2022-03-11).
- [Obr6] Igor Pinigin. Ulugh Beg's Astronomic Observatory. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ulugh\\_Beg\\_Observatory#/media/File:Ulugh\\_Beg's\\_Astronomic\\_Observatory.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Ulugh_Beg_Observatory#/media/File:Ulugh_Beg's_Astronomic_Observatory.jpg), říjen 2007. (2022-03-11).
- [Obr7] Ian Ridpath. Dürer's hemispheres of 1515 – the first European printed star charts. <http://www.ianridpath.com/startales/durer.html>. (2022-03-12).
- [Obr8] Peter Apiánus. Astronomicum Caesareum. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Astronomicum\\_Caesareum.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Astronomicum_Caesareum.jpg), 1540. (2022-03-12).
- [Obr9] Peter Apiánus. Astronomicum Caesareum (1540). [https://www.univie.ac.at/hwastro/rare/1540\\_apian.htm](https://www.univie.ac.at/hwastro/rare/1540_apian.htm), 1540. (2022-03-12).
- [Obr10] Ian Ridpath. Piccolomini's chart of Orion from De le stelle fisse. [http://www.ianridpath.com/startales/images/orion\\_piccolomini-1723.jpg](http://www.ianridpath.com/startales/images/orion_piccolomini-1723.jpg). (2022-03-12).
- [Obr11] Johann Bayer. Uranometria. <http://www.e-rara-ch/zut/content/titleinfo/77412>. (2022-03-13).
- [Obr12] Johann Hevelius. Prodomus astronomiae. <http://www.e-rara-ch/zut/content/titleinfo/133457>. (2022-03-13).
- [Obr13] John Flamsteed. Atlas Coelestis. [https://www.univie.ac.at/hwastro/rare/1753\\_flamsteed.htm](https://www.univie.ac.at/hwastro/rare/1753_flamsteed.htm). (2022-03-13).
- [Obr14] William Herschel. Great Forty-Foot Telescope. <https://ecuip.lib.uchicago.edu/multiwavelength-astronomy/images/optical/Herschel40ft.jpg>. (2022-03-14).

- [Obr15] F. W. A. Argelander. Neue Uranometrie. [https://catalog.lindahall.org/discovery/delivery/01LINDAHALL\\_INST:LHL/1288816580005961](https://catalog.lindahall.org/discovery/delivery/01LINDAHALL_INST:LHL/1288816580005961). (2022-03-15).
- [Obr16] Steinheil prism photometer. [https://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle\\_query?2000JAD.....6...7S&defaultprint=YES&filetype=.pdf](https://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?2000JAD.....6...7S&defaultprint=YES&filetype=.pdf), Figure 1.1. (2022-03-17).
- [Obr17] The Zöllner Photometer. <https://www.nature.com/articles/107142a0>, Figure 1. (2022-03-17).
- [Obr18] John W. Draper. First Astronomical Photograph - John W. Draper's Moon Daguerreotype. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/34/John\\_W\\_Draper-The\\_first\\_Moon\\_Photo\\_1840.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/34/John_W_Draper-The_first_Moon_Photo_1840.jpg). (2022-03-22).
- [Obr19] 8 inch Bache Doublet. <http://dasch.rc.fas.harvard.edu/telescopes.php>. (2022-03-22).
- [Obr20] The Emergence of Astrophysics in Asia Opening a New Window on the Universe Historical and Cultural Astronomy. [https://www.researchgate.net/figure/An-engraving-of-the-34-cm-astrograph-and-associated-25-cm-guide-scope-made-in-1885-and\\_fig3\\_333208134](https://www.researchgate.net/figure/An-engraving-of-the-34-cm-astrograph-and-associated-25-cm-guide-scope-made-in-1885-and_fig3_333208134), Figure 1. (2022-03-24).
- [Obr21] North Polar Sequence , published AAVSO (ICQ 1,17,3,7). <http://195.209.248.207/en/news/17>. (2022-03-26).
- [Obr22] Joel Stebbins. The Light-Curve of Algol. <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1910ApJ....32..185S>, Figure 1. (2022-04-03).
- [Obr23] Joel Stebbins. The Light-Curve of Algol. <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1910ApJ....32..185S>, Figure 3. (2022-04-03).
- [Obr24] C. F. Trefzger, L. M. Cameron, A. Spaenhauer, and U. W. Steinlin. Empirical calibration of the RGU-system. <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1983A%26A...117..347T>, Figure 1. (2022-04-09).
- [Obr25] RCA 1P21 nine-stage photomultiplier. <http://www.decadecounter.com/vta/articleview.php?item=144>. (2022-04-09).
- [Obr26] Jon. Howorth. Experimental data on the reflection and transmission spectral response of photocathodes. [https://www.researchgate.net/figure/Spectral-response-of-S20-photocathode-serial-TC81030225-in-transmission-and-reflection\\_fig1\\_265498128](https://www.researchgate.net/figure/Spectral-response-of-S20-photocathode-serial-TC81030225-in-transmission-and-reflection_fig1_265498128). (2022-04-09).

- [Obr27] H. L. Johnson and W. W. Morgan. Response of the photometer to equal energy at all wave lengths. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1951ApJ...114..522J/abstract>, Figure 1. (2022-04-11).
- [Obr28] B. Strömgren. uvby system – Transmission curves. <https://gcpd.physics.muni.cz/filters/fil04.html>. (2022-04-11).
- [Obr29] Camille Flammarion. Tycho observing 1572 supernova. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/Tycho\\_observing\\_1572\\_supernova.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/Tycho_observing_1572_supernova.jpg). (2022-03-29).
- [Obr30] The Instrument that Discovered a Planet. <https://www.planetary.org/space-images/blink-comparator>. (2022-03-29).
- [Obr31] Kodak's First Digital Moment. <https://lens.blogs.nytimes.com/2015/08/12/kodaks-first-digital-moment/>. (2022-04-25).
- [Obr32] ENERGY.GOV. A 300-micrometer-thick charge-coupled device (ccd) with more than 21 million pixels. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CCD\\_wafer.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CCD_wafer.jpg). (2022-04-25).
- [Obr33] Hipparcos satellite. <https://www.britannica.com/topic/Hipparcos#/media/1/1279910/96479>. (2022-04-19).
- [Obr34] Gaia Artist's Impression. <https://www.cosmos.esa.int/documents/29201/307569/Gaia+Artist%27s+impression.jpg/ff365fd7-3439-47f0-8728-00a6918e5c27?version=1.1&t=1416840771000&imagePreview=1>. (2022-04-22).
- [Obr35] Red and Blue Photometer prisms - Red and Blue Photometers integrated into the Cold Radiator. <https://www.cosmos.esa.int/documents/29201/350208/Red+and+Blue+Photometer+prisms.jpg/a6e859d9-43cc-4cdf-ba88-a3db33623b21?version=1.1&t=1395916895000&imagePreview=1>. (2022-04-22).
- [Obr36] 65cm Mayerův dalekohled v Ondřejově. <https://www.astro.cz/images/obrazky/original/121695.jpg>. (2022-04-24).

# Seznam obrázků

1.1	Hvězdná mapa z Dendery v Louvru [Obr. 1]	6
1.2	Atlas z vily Farnese [Obr. 2]	8
1.3	Úryvek z prvního tištěného <i>Almagestu</i> z roku 1515, hvězdy v Kassiopeie a Perseovi [Obr. 3]	9
2.1	Obraz Istanbulských astronomů [Obr. 4]	14
2.2	Zobrazení souhvězdí lodi Argo z al-Súfího katalogu ze Strahovského kláštera [Obr. 5]	16
2.3	Meridiánový oblouk v Samarkandské hvězdárně [Obr. 6]	17
3.1	Dürerův atlas v barevném provedení [Obr. 7]	19
3.2	Volvella z Apiánova díla <i>Astronomicum Caesareum</i> [Obr. 8]	20
3.3	Mapa Petera Apiána v <i>Astronomicum Caesareum</i> [Obr. 9]	20
3.4	Piccolominiho mapa Orionu z <i>De le stelle fisse</i> [Obr. 10]	21
3.5	<i>Uranometria</i> [Obr. 11]	23
3.6	Vyobrazení Vozky v Heveliově <i>Uranographii</i> [Obr. 12]	25
3.7	Vyobrazení okolí Velryby v Flamsteedově <i>Atlasu Coelestis</i> [Obr. 13]	26
4.1	Herschelův 40-ti stopý dalekohled (pojmenovaný dle své délky, průměr zrcadla byl čtyři stopy), vyobrazený v <i>The Scientific Papers of Sir William Herschel</i> z roku 1912 [Obr. 14]	30
4.2	Okolí severního pólu v atlasu <i>Uranometria Nova</i> [Obr. 15]	33
5.1	Steinheilův fotometr [Obr. 16]	36
5.2	Schéma Zöllnerova fotometru [Obr. 17]	37
6.1	První fotografie Měsíce Johnem Draperem 23. března 1840 [Obr. 18]	40
6.2	Bache Telescope [Obr. 19]	42
6.3	33-centimetrový astrograf bratří Henryů [Obr. 20]	45
6.4	NPS	46
7.1	Selenový článek v nádobě s ledem, připevněný na 30-centimetrovém refraktoru [Obr. 22]	50
7.2	Světelná křivka Algolu naměřená J. Stebbinsem [Obr. 23]	51
8.1	Pásma fotoelektrického RGU systému (plné čáry) a fotografického systému RGU dle Busera (přerušované čáry) [Obr. 24]	56
8.2	Fotonásobič RCA 1P21 [Obr. 25]	57
8.3	Světelná citlivost S20 v závislosti na vlnové délce [Obr. 26]	57
8.4	Citlivost fotometru UBV systému [Obr. 27]	58
8.5	Přenosové křivky <i>uvby</i> systému [Obr. 28]	60
9.1	Tycho Brahe pozorující novu v Kassiopei [Obr. 29]	62
9.2	Blink-komparátor na Lowellově hvězdárně, použitý k objevu Pluta [Obr. 30]	65
10.1	První digitální fotoaparát z roku 1975 [Obr. 31]	67
10.2	CCD detektor k astronomickému využití [Obr. 32]	68

12.1	Vyobrazení družice Hipparcos [Obr. 33] . . . . .	73
12.2	Vyobrazení družice Gaia [Obr. 34] . . . . .	74
12.3	Vyobrazení červeného a modrého fotometrického hranolu družice Gaia [Obr. 35] . . . . .	74
13.1	Mayerův dalekohled na Ondřejovské hvězdárně [Obr. 36] . . . . .	78