

Příběhy fotonů

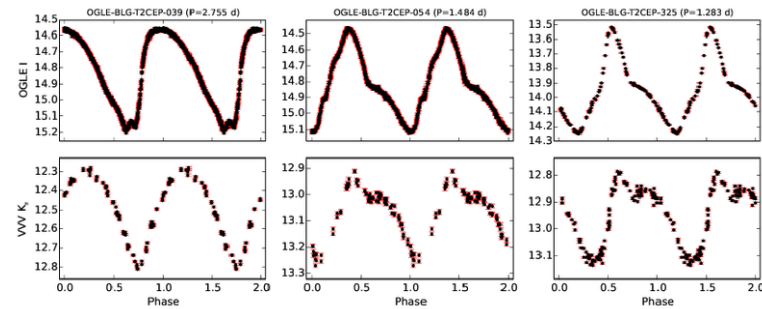
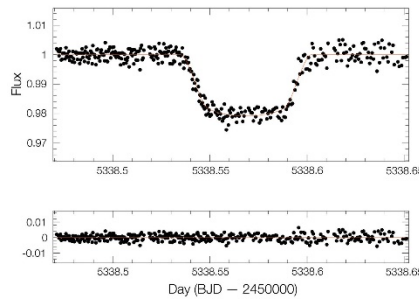


Miloslav Zejda

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky
Přírodovědecká fakulta MU

U3V, 30. 3. 2021

Fotometrie



fotometrie = *fotos* (světlo) + *metron* (míra, měřit) - část fyziky zabývající se měřením světla; zkoumáním hustoty světelného toku

radiometrie – obecnější, zkoumání hustoty toku záření

fotometrická měření – jedna z nejstarších měření vůbec!



nejstarší katalog fotometrických dat – 129 př.n.l. – Hipparchos

(asi 190 – asi 125 př. n. l.) - více než 850 hvězd (1080?),

originál se nedochoval





Schaefer (2005)

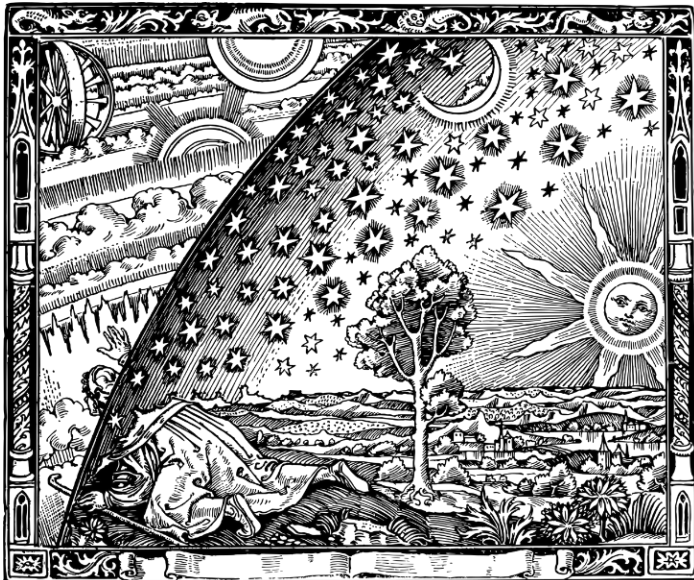
Farneseův atlas



zhotoven podle
ztraceného
Hipparchova katalogu!



kolem r. 150 n.l. – Klaudios Ptolemaios – Almagest,
součástí aktualizovaný Hipparchův katalog -
nejstarší soubor fotometrických dat;
1022 hvězd v 6 skupinách – *velikostech*



hvězdná velikost – počátek dnešního termínu

jasnější = větší

Proč?

hvězdy na hvězdné sféře

=> stejně daleko od nás

Pogsonova rovnice

hvězdné velikosti - *rozdíly pocitů* při pozorováních hvězd lišících se o jednu třídu jsou stejné => např. jasnosti hvězd 1. a 2. velikosti se od sebe liší stejně jako hvězdy 5. a 6. velikosti.

$$j_1/j_2 = j_2/j_3 = \dots = j_5/j_6 = \rho,$$

j_i - jasnosti hvězd i -té velikosti a ρ kvocient geometrické řady

18. a 19. století – různé katalogy hvězd $\rho = 2,3$ až $2,8$

1856 - Norman Pogson – návrh $\log \rho = 0,4$ (přesně), tedy $\rho = 2,512\dots$

Obecně:

$$j_m = j_n \rho^{(n-m)}, \text{ resp. } n - m = 2,5 \log (j_m/j_n) \quad \textbf{Pogsonova rovnice}$$

(m, n jsou hvězdné velikosti v magnitudách)

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \frac{j_1}{j_2}$$



Jasnost a hvězdná velikost

Veličina *hvězdná velikost* – míra jasnosti vesmírných objektů

jednotka - *magnituda (mag)*

z definice hv. velikosti => je-li jasnost hvězdy *100krát* menší než jasnost jiného objektu, je rozdíl hvězdných velikostí *přesně 5 magnitud!*

Záludnosti:

- nezaměňujte název veličiny (hvězdná velikost) a jednotky (magnituda)
- *zmenšuje-li* se hodnota hvězdné velikosti, jasnost objektu *roste!*

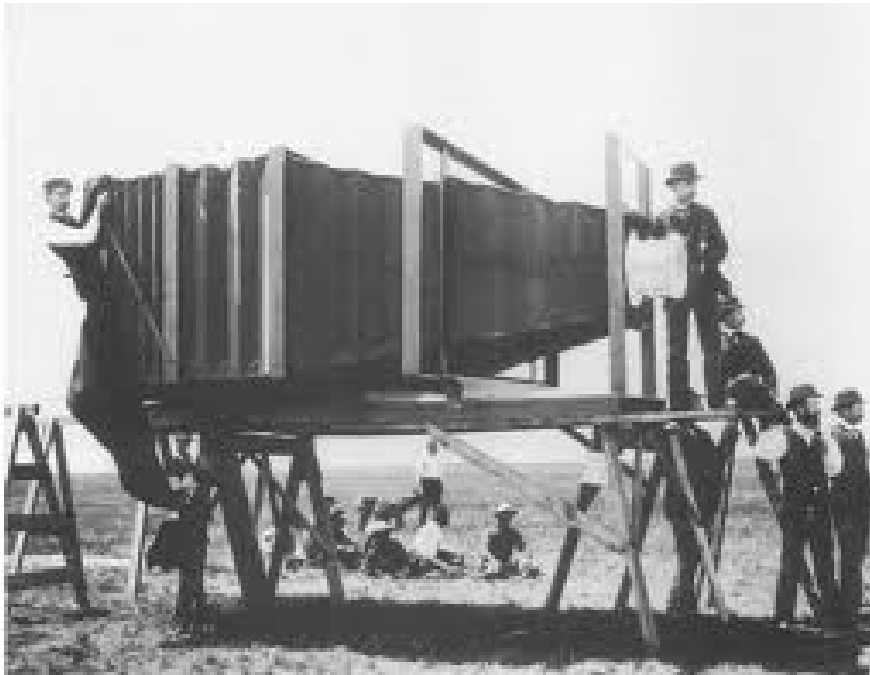
Hvězdné velikosti některých objektů

<u>Kosmický objekt</u>	<u>Hvězdná velikost</u>
Slunce	-26,7 mag
Měsíc v úplňku	-12,7 mag
Venuše při největší jasnosti	-4,7 mag
Sirius	-1,5 mag
Vega	0,0 mag
nejslabší hvězdy viditelné pouhýma očima	6 mag
nejslabší hvězdy pozorovatelné triedrem	asi 10 mag
nejslabší objekty pozorovatelné dalekohledem na Zemi	asi 28 mag, 36 mag (E-ELT)
nejslabší objekty pozorovatelné kosmickým dalekohledem	31.5 mag

Viditelné prostým okem bez dalekohledu	Pozorovaná hvězdná velikost [mag]	Relativní jasnost vzhledem k hvězdě Vega	Počet hvězd jasnějších než udaná hvězdná velikost
Ano	-1	250%	2
	0	100%	4
	1	40%	15
	2	16%	48
	3	6.3%	171
	4	2.5%	513
	5	1.0%	1 602
	6	0.40%	4 800
Ne	7	0.16%	14 000
	8	0.063%	42 000
	9	0.025%	121 000
	10	0.010%	340 000

Fotometrie

- vizuální
- fotografická
- fotoelektrická
- CCD, CMOS



Vizuální fotometrie

fotometrie prováděná prostým okem
přesnost zpravidla 0,1 mag;
výjimečně až 0,02 mag (Otero, Hornoch,
Dubovský)

metody:

- Herschelova – slovní popis
- Argelanderova (1844)
 - definované odhadní stupně rozdílu jasností V, C
- Nijlandova – Blažkova (1901)
 - absolutní i relativní poměrování V, C
- Pogsonova
 - nutná znalost hv. velikostí C
- Pickeringova
 - desetinné dělení rozdílu mezi V a C

PROTOKOL

PRO POZOROVÁNÍ ZÁKRYTOVÝCH DVOJHVĚZD

PROMĚNNÁ HVĚZDA	RZ Cas	DATUM	13. 11. 93	1993	
POZOROVATEL	Petr Molik	STANICE	Soběslav		
OBEC BYDLISTĚ	Soběslav	PŘÍSTROJ	binokl 10x50	ZV.	16
POZOROVACÍ PODM.	jasno, ale zamženo, slabě srovnávací hvězdy nepoužívám				

POR. Č.	ČAS ODHADU h. min (UT)	ODHAD	m odh. st.	POZNAMKY
1	0: 21	a 2 v 1 b	0,33	
2	0: 33	a 2 v 3 b	0,33	
3	0: 43	a 2 v 3 b	0,33	
4	0: 48	a 3 v 3 b	0,33	
5	1: 03	a 3 v 3 b	0,33	
6	1: 11	a 3 v 2 b	0,46	
7	1: 23	a 3 v 1 b	0,55	
8	1: 35	a 3 v 1 b	0,55	
9	1: 49	a 4 v 0 b 3 c	0,73	
0	1: 53	b 2 v 3 c	0,92	
1	1: 59	b 3 v 2 c	1,03	
2	2: 08	b 3 v 1 c	1,11	
3	2: 18	c 1 v 1 a	1,38	
4	2: 23	c 2 v 0 d	1,51	
5	3: 26	c 1 v 1 a	1,38	
6	3: 35	b 3 v 0 c 2 a	1,22	
7	3: 56	a 4 v 0 b 3 c	0,73	
8	4: 04	a 3 v 1 b	0,55	
9	4: 13	a 3 v 2 b	0,46	
0		v		
1		v		
2		v		
3		v		
4		v		
5		v		
6		v		
7		v		
8		v		
9		v		
0		v		

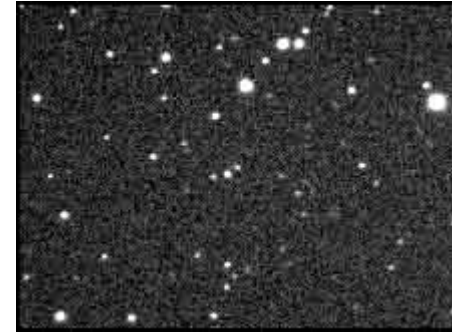
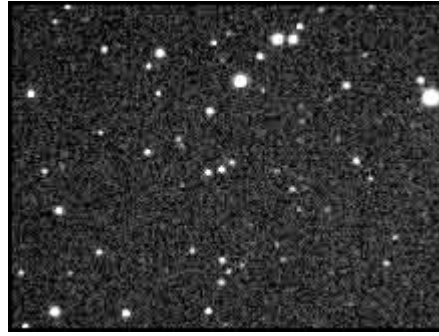
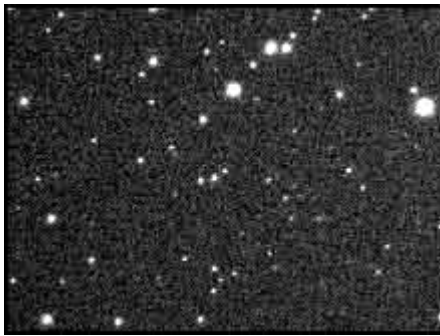
SROVN. HVĚZDA	ODHADNÍ STUPEŇ	INDIVID. MAG
a	0	6,08
b	1,11	6,30
c	3,32	7,25
d	10,22	7,51

MAPKA:
Mapka a jasnosti srovnávacích hvězda převzaty z: Pávekova, Kubiškin: Proměnné hvězdy a způsoby jejich pozorování Praha, 1958.

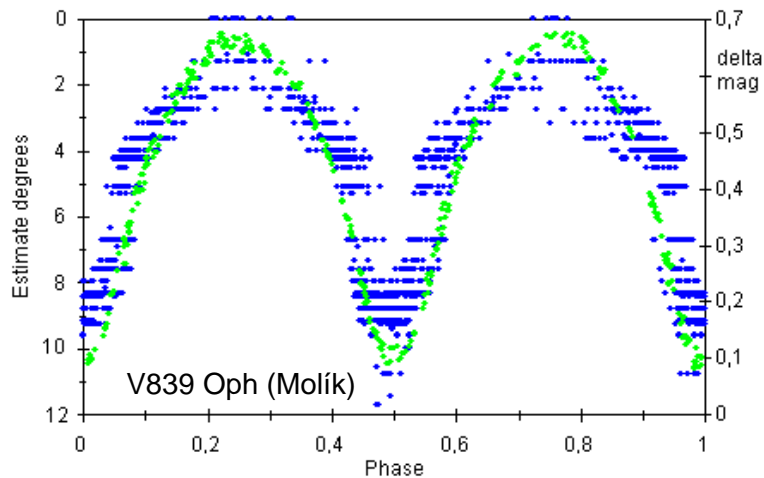
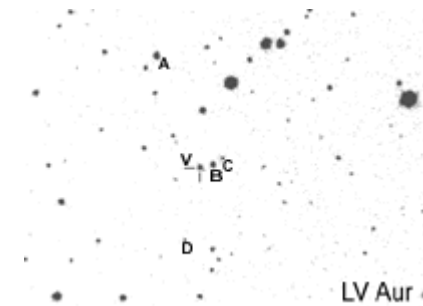
POZOROVANÉ MINIMUM						POČET ODH	
DEN	MĚSÍC	ROK	UT	CHYBA	CELK.	SEST.	
14	3	1993	2 ^h 51 ^m	±	19	14	

REKTASCENZE	ZÁKLADNÍ MINIMUM	ZDROJ	PŘEDPOVĚDĚNÉ MINIMUM	EPOCHA
2 ^h 48 ^m 50 ^s	2449063,1302	Hvězda ročenka 1992	2449060, 6152	78514
DEKLINACE	PERIODA	CHYBA	JD _{hel} - POZ. MINIMUM	(O-C)
09° 38,0	1,19524892	± 0,0	2449060, 6102	0,0010

Vizuální fotometrie



<http://var2.astro.cz/brno/trenazer.php>



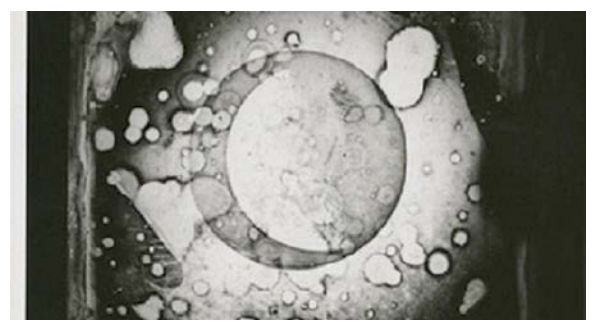
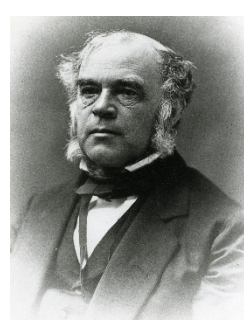
• visual estimates (1995) • photoelectric data (1958-59)

výhody: levná, lehká, rychlá metoda

nevýhody: subjektivní, malá přesnost

Fotografie (v astronomii)

1840 – John William Draper – Měsíc



1850 – J. A. Whipple, G. P. Bond – daguerotypie Vegy

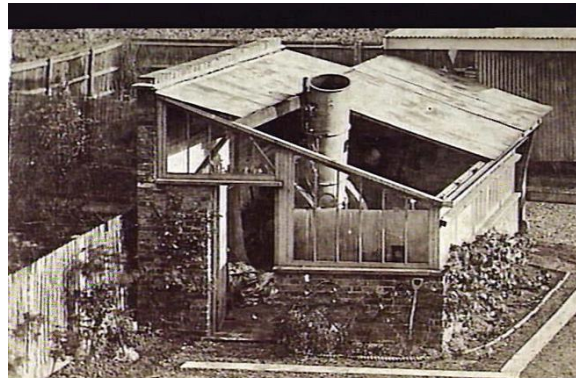


1857 – G. P. Bond – 1. koloidní snímek hvězd (Alkora a Mizara)

1881 – Henry Draper – snímek mlhoviny v Orionu, hvězdy do 14.7 mag



1883 – A. Common – snímky mlhoviny na suchých deskách; dlouhé expozice => hvězdy na snímku slabší než pozorovatelné vizuálně

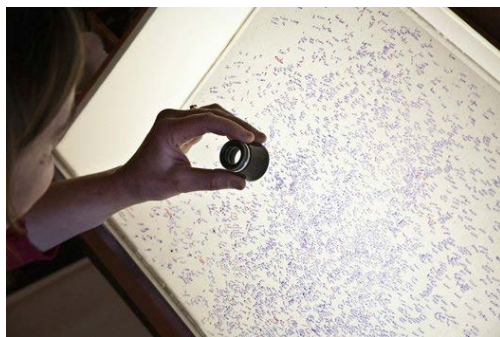


Fotografická fotometrie

pravidelné a intenzivní využití – po dobu století
(konec 19. – konec 20. st.)



citlivost – větší v modré oblasti, ale obecně pro celý rozsah světla
materiál – fotovrstva – film, desky => skleněné archívy



Výhody:

- objektivní metoda měření jasnosti
- větší citlivost (zejména v modré oblasti)
- možnost snímat velké oblasti oblohy
- přehlídkové projekty => rozsáhlé skleněné archívy
- možnost opakovaně proměřit hvězdy na snímku



Nevýhody:

- nelinearita
- malá kvantová účinnost (z dnešního pohledu)



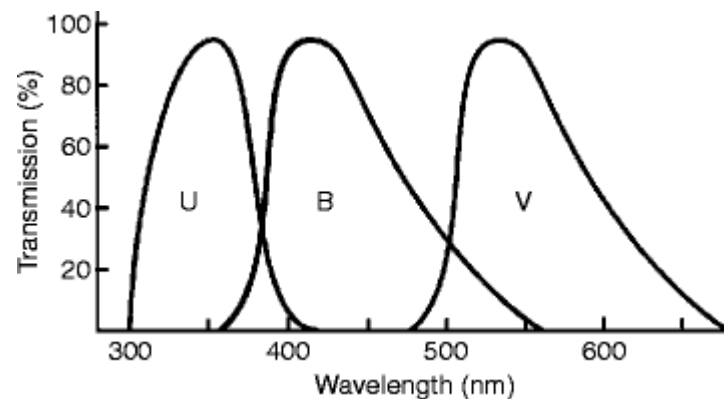
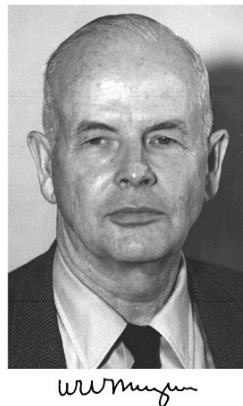
Fotoelektrická fotometrie

1892 – W. Monck - 1. elektrická detekce světla hvězdy
(fotonka zkonstruovaná G. Minchinem)

1907 – J. Stebbins - seleniový odporový fotočlánek



počátek 50. let 20. st. – H. L. Johnson & W. W. Morgan *UBV*



Fotoelektrická fotometrie

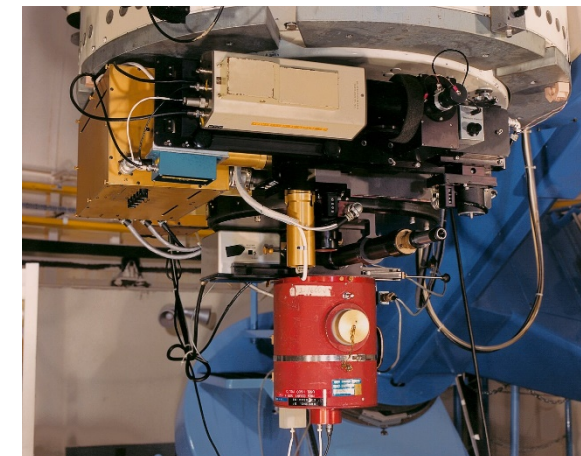
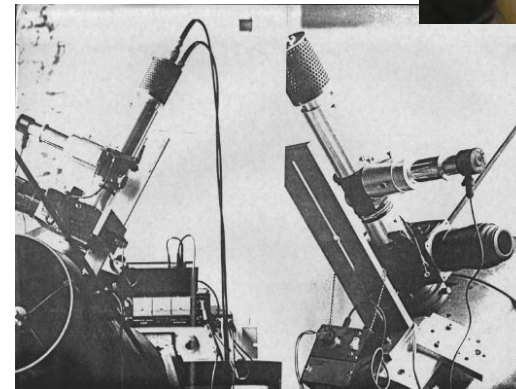
Výhody:

- fotonásobiče nejcitlivějším přístrojem na detekci světla
- detekce jednotlivých fotonů
- velký dynamický rozsah
- linearita
- rychlost
- velká přesnost až 0,001 mag

Nevýhody:

- neopakovatelnost měření
- náročnost zpracování
- jen relativně jasné hvězdy

Současnost - jen na několika observatořích na světě



„Křemíková“ fotometrie - CCD



1969 – 1. prvek CCD (Charged Coupled Device) W. Boyle a G. E. Smith
(Nobelova cena 2009)



1970 – 1. CCD kamera

1974 – 1. komerční CCD zobrazovací prvky Fairchild Electronics (100x100 px)
(schopnost přenosu náboje tehdy $<0,5\%$ => o trochu méně než dobrá fotografická deska).

1979 – 1. použití v astronomii a počátek nového věku v pozorovací technice (Kitt Peak National Observatory, čip RCA 320x512)

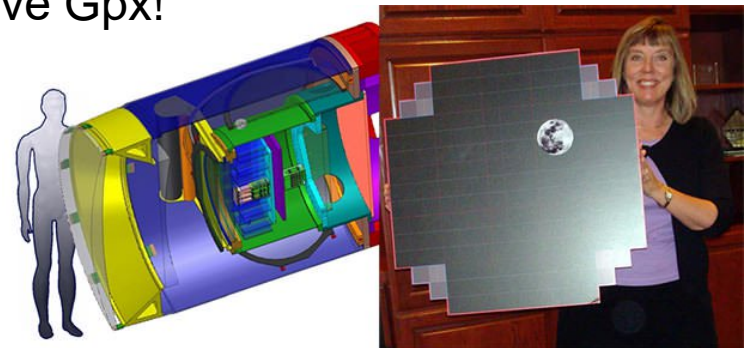
21. století - CCD kamery masově rozšířeny i mezi amatéry => vzrostl počet fotometrických dalekohledů => nárůst objemu dat pro individuální objekty



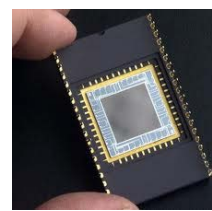
Ale měřit jasnost hvězd lze i pomocí fotoaparátů nebo dokonce mobilních telefonů - DSLR fotometrie (Digital Single Lens Reflex)



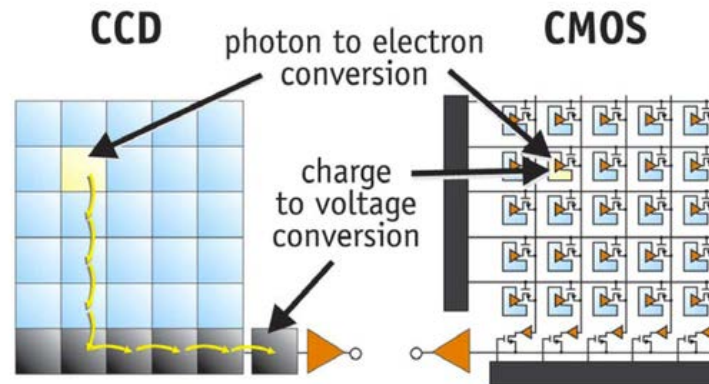
přehlídkové projekty - ASAS, OGLE, MACHO, ROTSE, NSVS, SuperWASP, APASS, SDSS, Catalina, 2MASS, LINEAR, TASS, Stardial, HAT, ...
nové – LSST, Pan-STARRS – čipy přes řádově Gpx!



CCD x CMOS fotometrie



- CCD (Charge-coupled device) - signál přenášen z pixelu na pixel a poté převeden na napětí,
- CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) - založeny na standardní technologii, která se využívá při výrobě paměťových čipů; signál se transformuje na napětí přímo uvnitř každého pixelu (první návrhy a ideje počátkem 60. let 20. st.)

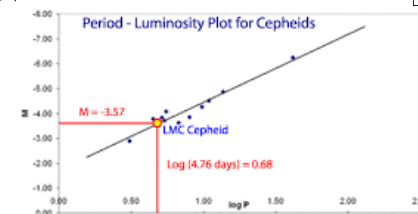
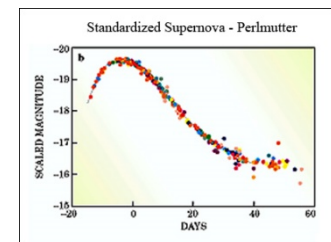
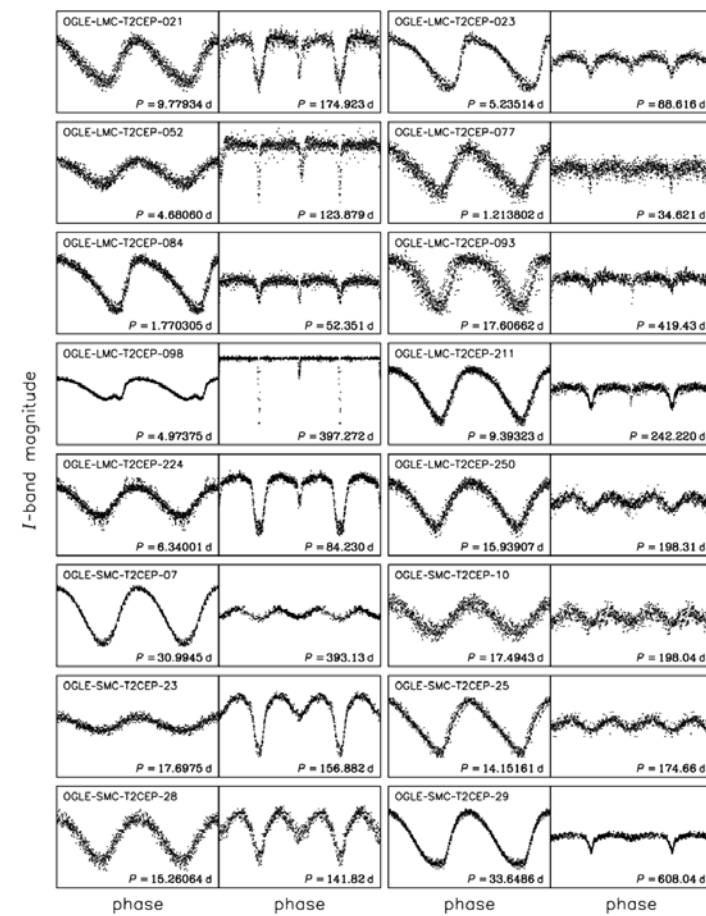


Výhody: vysoká kvantová účinnost, jednoduché pozorování, zpracování, ukládání v archivu, možnost opakovaného zpracování, studium všech hvězd na snímku, možnost pozorovat slabší objekty

Nevýhody: menší přesnost u běžných komerčních CCD kamer, při pozorování jasných objektů, časové rozlišení 0.1 s (levné komerční kamery), malý dynamický rozsah

Co lze zjistit z fotometrie?

- ❖ chování – (ne)proměnnost hvězdy (objektu)
 - dvojhvězdnost (zákrytové dvojhvězdy)
 - přítomnost exoplanety u hvězdy
 - doba rotace (CP hvězdy)
 - doba pulzace (pulzující proměnné hvězdy)
 - aktivita hvězd (vzplanutí, výbuchy nov, supernov)
- ❖ teplota atmosféry, metalicita, log g (barevné indexy)
- ❖ vnitřní struktura (pulzující hvězdy, astroseismologie, excentrické zákrytové dvojhvězdy)
- ❖ koeficienty okrajového ztemnění (zákrytové dvojhvězdy, exoplanety)
- ❖ vzdálenost (standardní svíčky, zákrytové dvojhvězdy, cefeidy)
- ❖ ...



Fotony

- zprostředkovávají dálkový průzkum kosmu**
- přibližují nám krásu vesmíru**




















Děkuji za pozornost!

Slovák

PHOTOGRAPHY

Foto: P. Horálek