

Sluneční dalekohledy, spektrografy

Pokročilé metody sluneční fyziky
ZS 2017/2018

Michal Švanda

Astronomický ústav MFF UK
Astronomický ústav AV ČR



- Účinnost pozorování

$$N_T = \eta N S \Delta t \Delta \nu A$$

- Seeing

- Volba pozorovací místa (vysoko, na místě se stálým (=laminárním) větrem)

- Lokální turbulence

- Vysoké budovy, umístění v prostředí s malou turbulencí (na ostrově), bezkrytový design

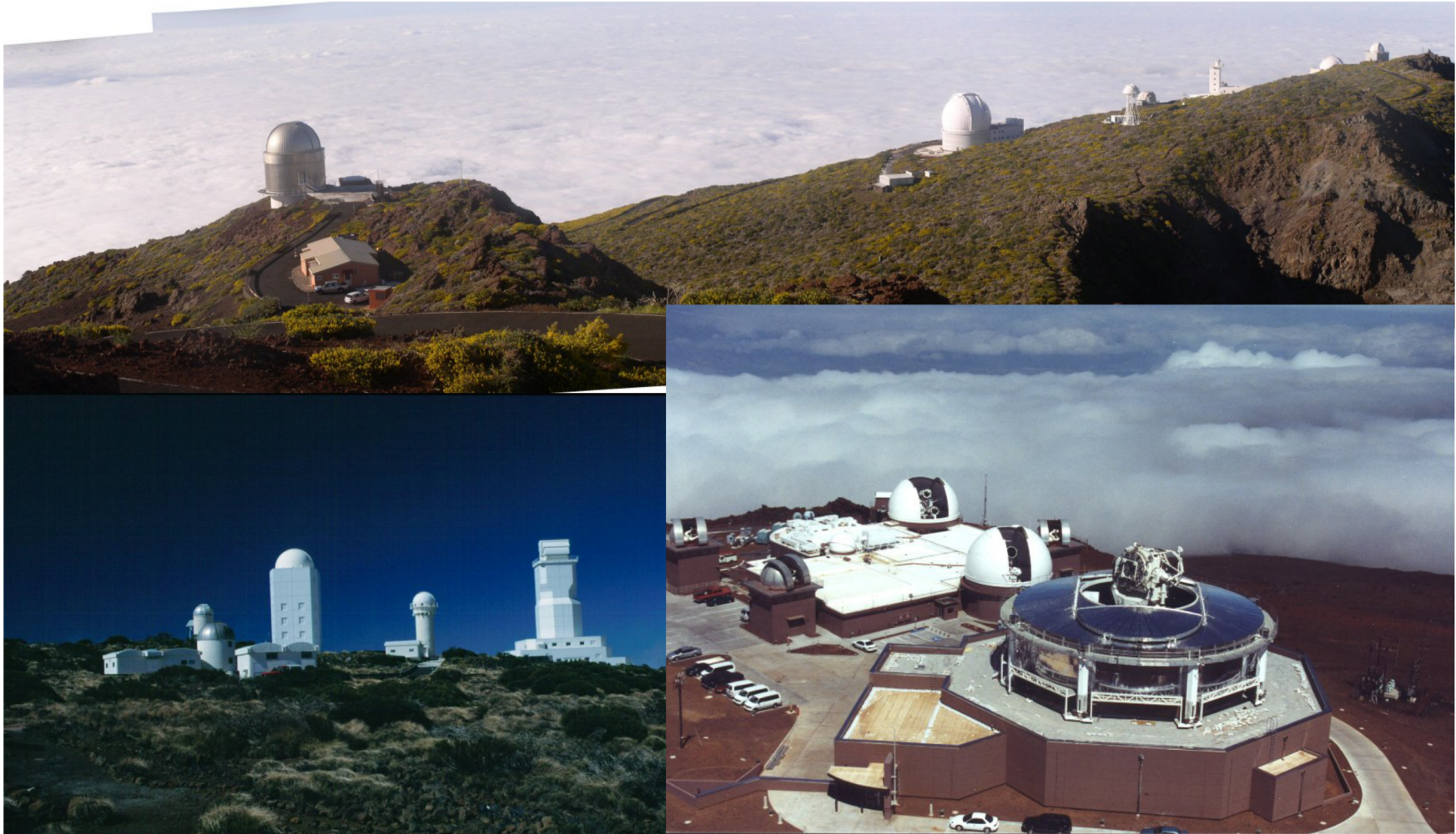
- Turbulence v tubusu

- Bezkrýtový design, evakuace tubusu

- Nátěr budovy: TiO_2 („goretex mezi barvami“) – reflexe ve viditelném, propouští (ven) infračervené

- Tepelné pasti, optika větší než odpovídá apertuře objektivu (tepelné efekty nejhorší na kraji)

Výběr místa



Swedish Solar Telescope

Swedish Solar Telescope
Roque de los Muchachos
La Palma
2500 m n. m.

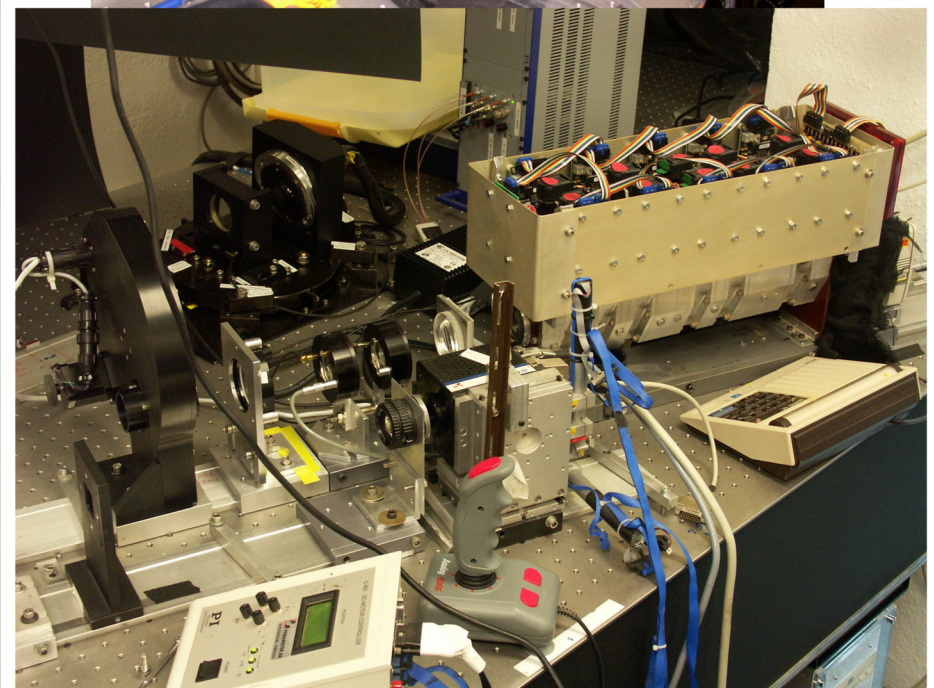
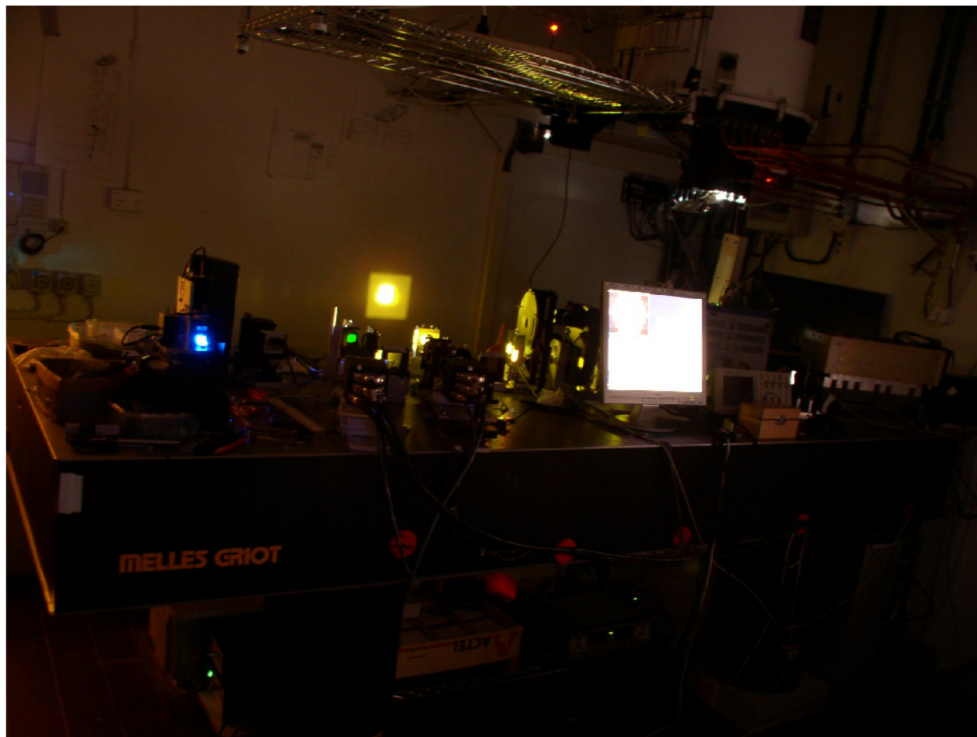
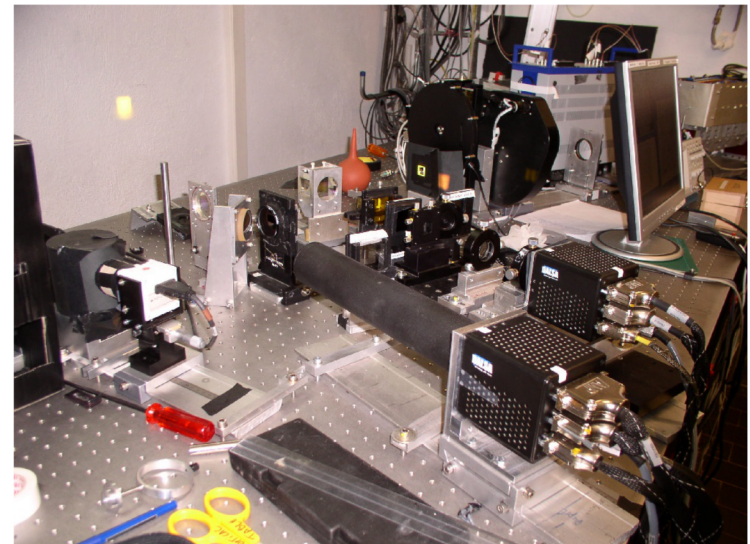
1m dalekohled s adaptivní
optikou, rozlišení až 0,1".



Na věži



Pod věží



Dutch Open Telescope



45 cm





McMath-Pierce telescope, NSO, Kitt Peak



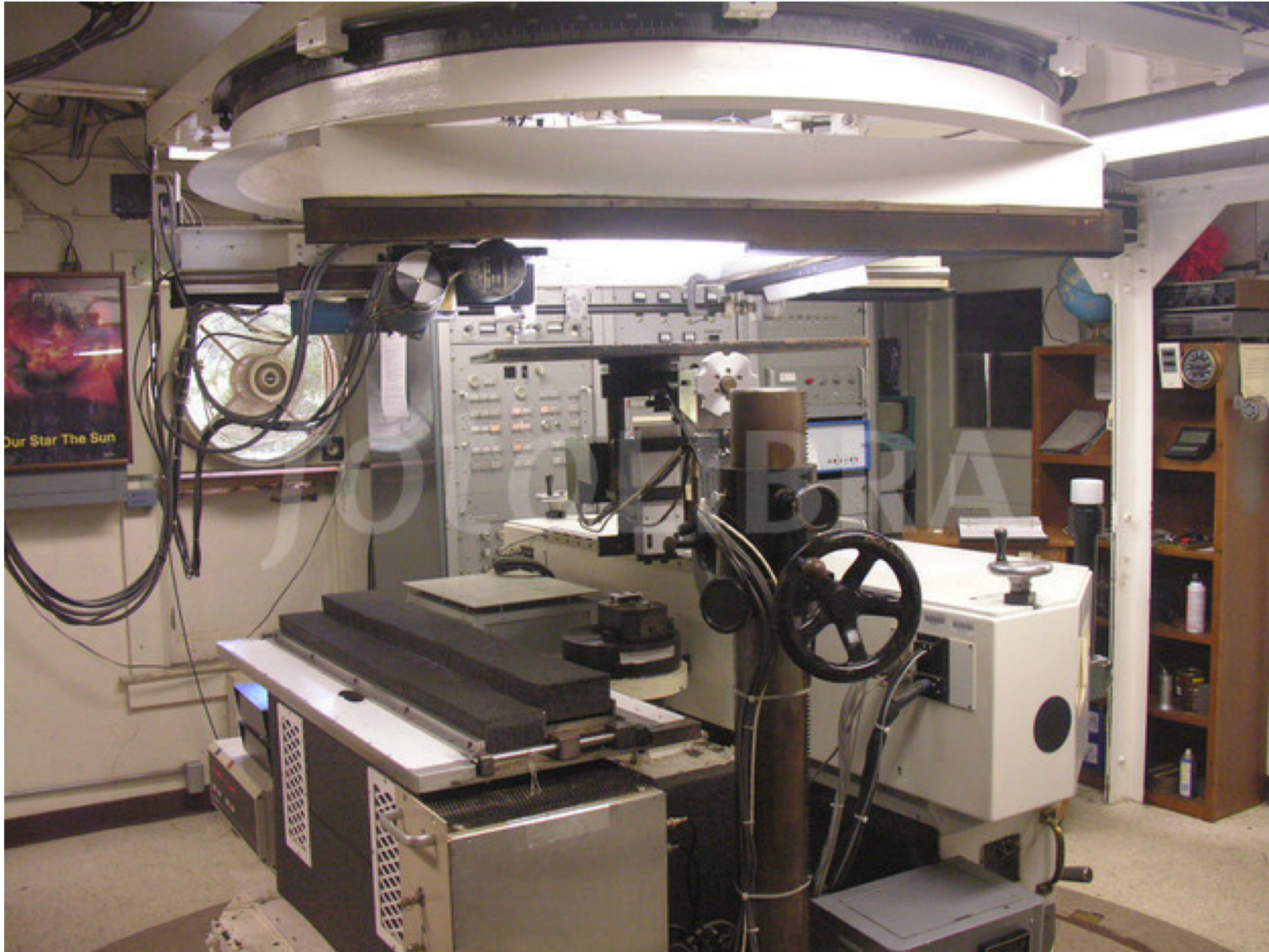
1,6 m

Mt. Wilson



12''

Mt. Wilson – ovládací místnost



Sacramento Peak



Dalekohled i s optickou montáží se otáčí – derotace Slunce

Big Bear Solar Observatory



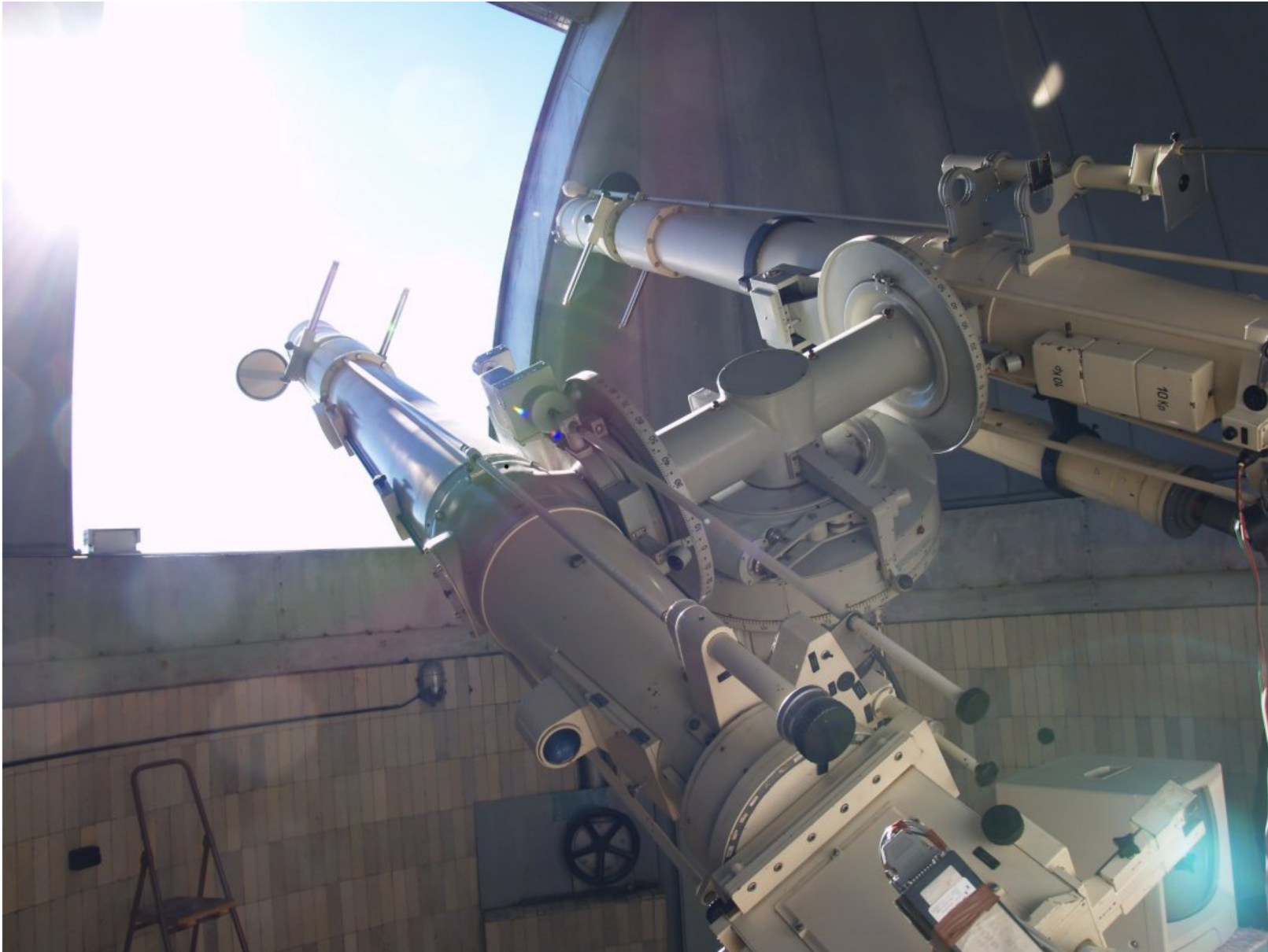
Pic du Midi



Lomnický štít



Lomnický štít – koronografy





● Siderostat/Heliostat

- Jedno rovinné zrcadlo, otáčející se kolem polární osy
- Sluneční obraz ale rotuje 15 stupňů/hodinu – problém pro delší pozorování (řešení: derotátory) a také při polarimetrických měřeních

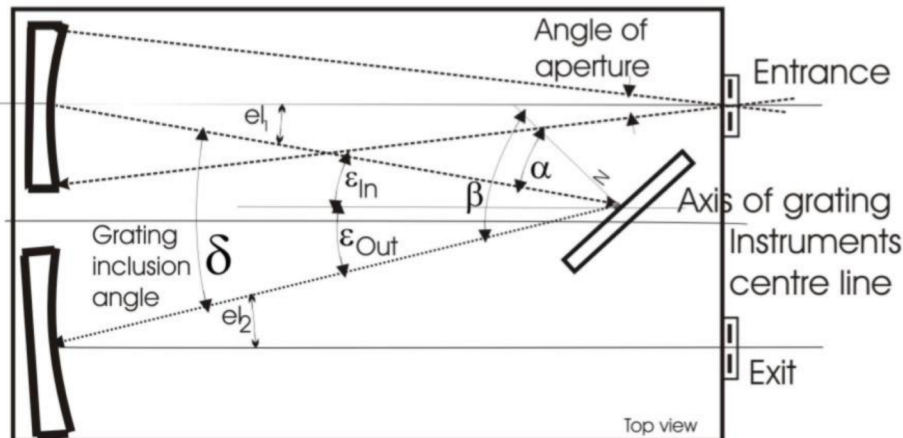
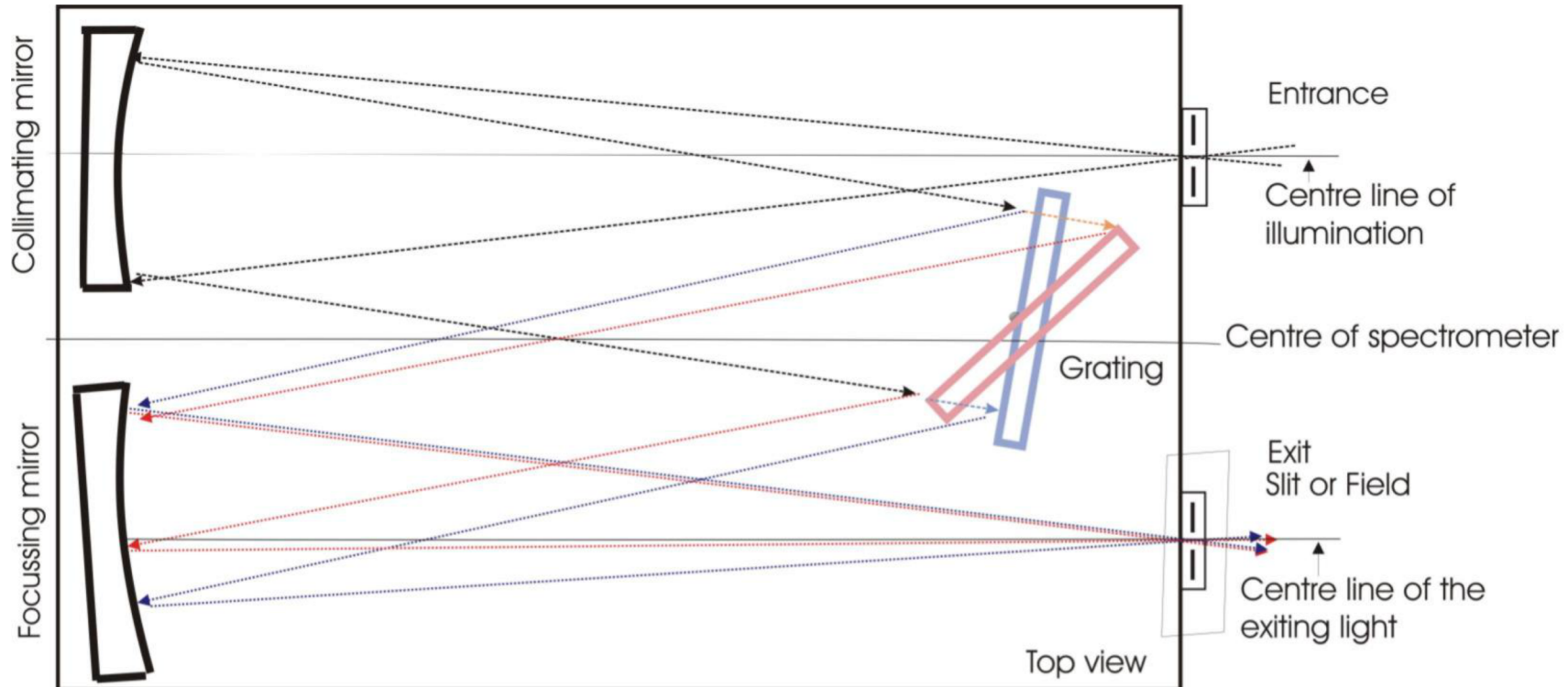
● Coelostat

- Dvě rovinná zrcadla, jedno na polární ose, druhé kolmo
- Nerotuje obraz Slunce
- Minimalizuje instrumentální polarizaci

● Turret

- Dvě rovinná zrcadla, alt-azimutální montáž
- Kompaktní konstrukce – minimalizace instrumentální turbulence
- Otáčí obraz Slunce

Spektrografy: Czerny-Turner



Equation F12:

$$m\lambda = k * 2 \sin \Phi * \cos \epsilon$$

Equation F1:

$$m\lambda = k * (\sin \alpha \pm \sin \beta)$$

Equation F14:

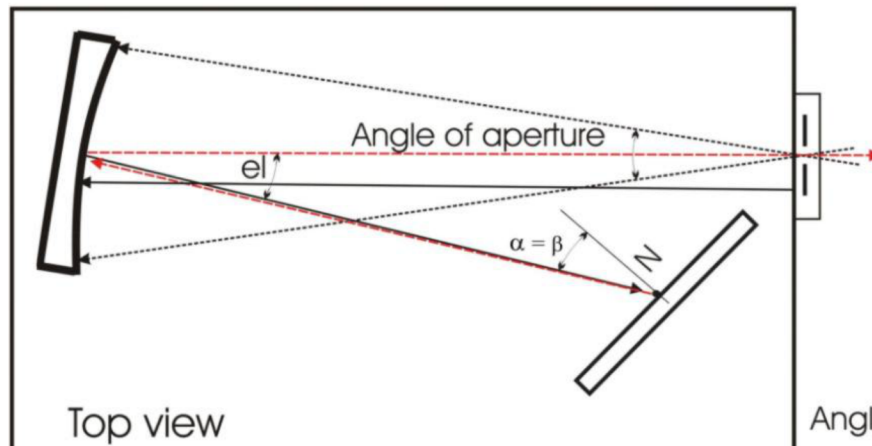
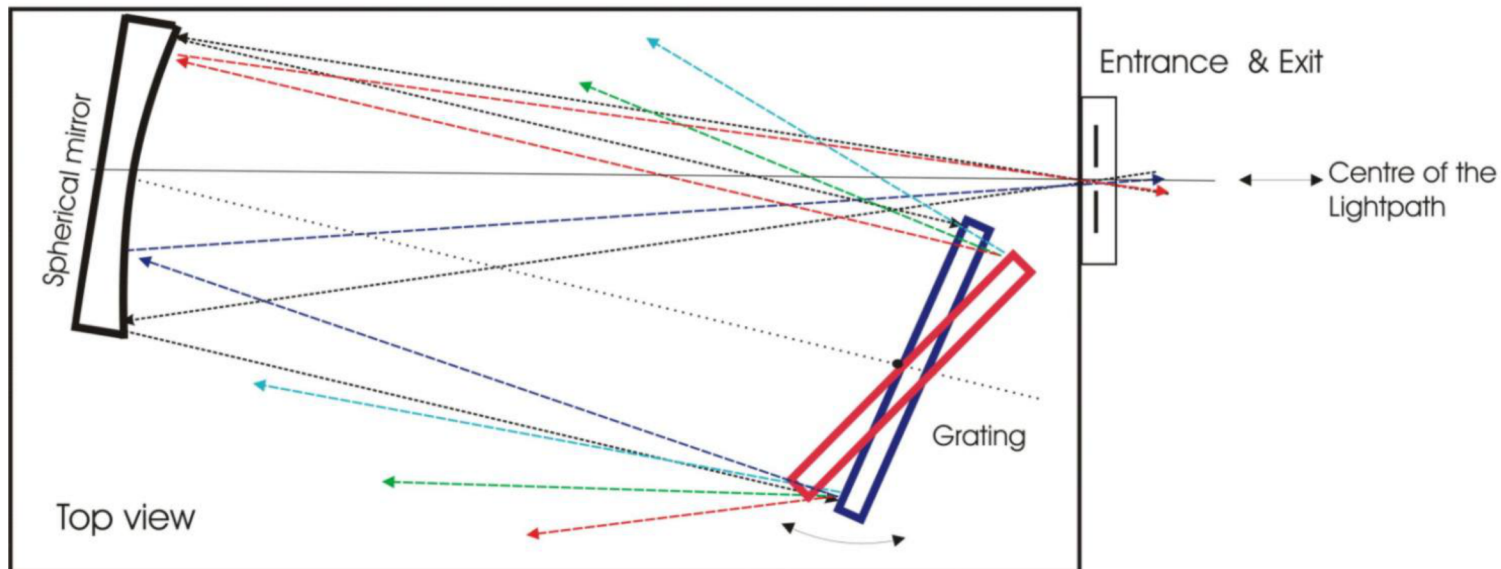
$$W_{iG} = W_{iM-in} * \cos e_{lin} * \cos \alpha$$

Equation F15:

$$W_{iM-out} = W_{iG} * \cos e_{out} * \cos \beta$$

Spektrografy: Littrow

The Littrow Configuration



Equation F11:

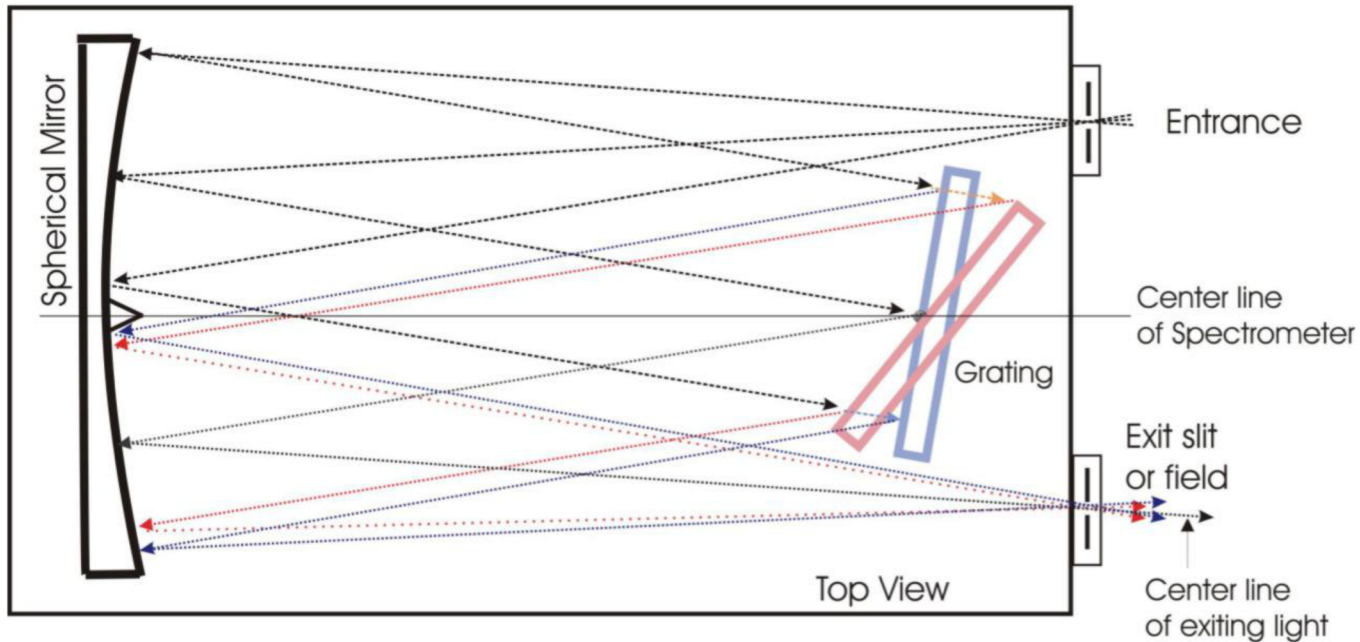
$$m * \lambda = k * 2 \sin \alpha$$

Equation F13:

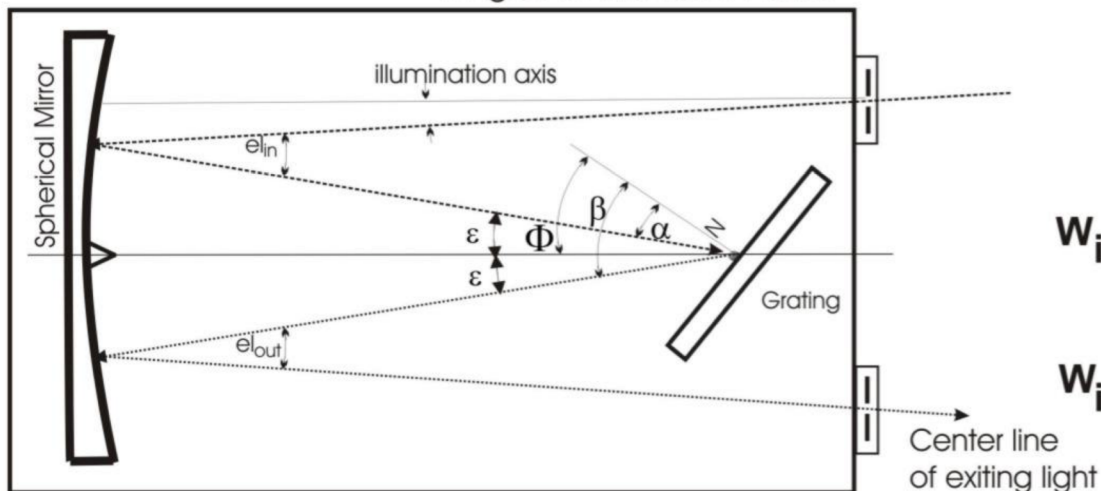
$$A_{iG} = A_{iM} * \cos \alpha * \cos el-h * \cos el-v$$

Angles at the Littrow

Spektrografy: Ebert-Fastie



Angles of the Ebert-Fastie



Formula 12:

$$m \lambda = k * 2 \sin \Phi * \cos \epsilon$$

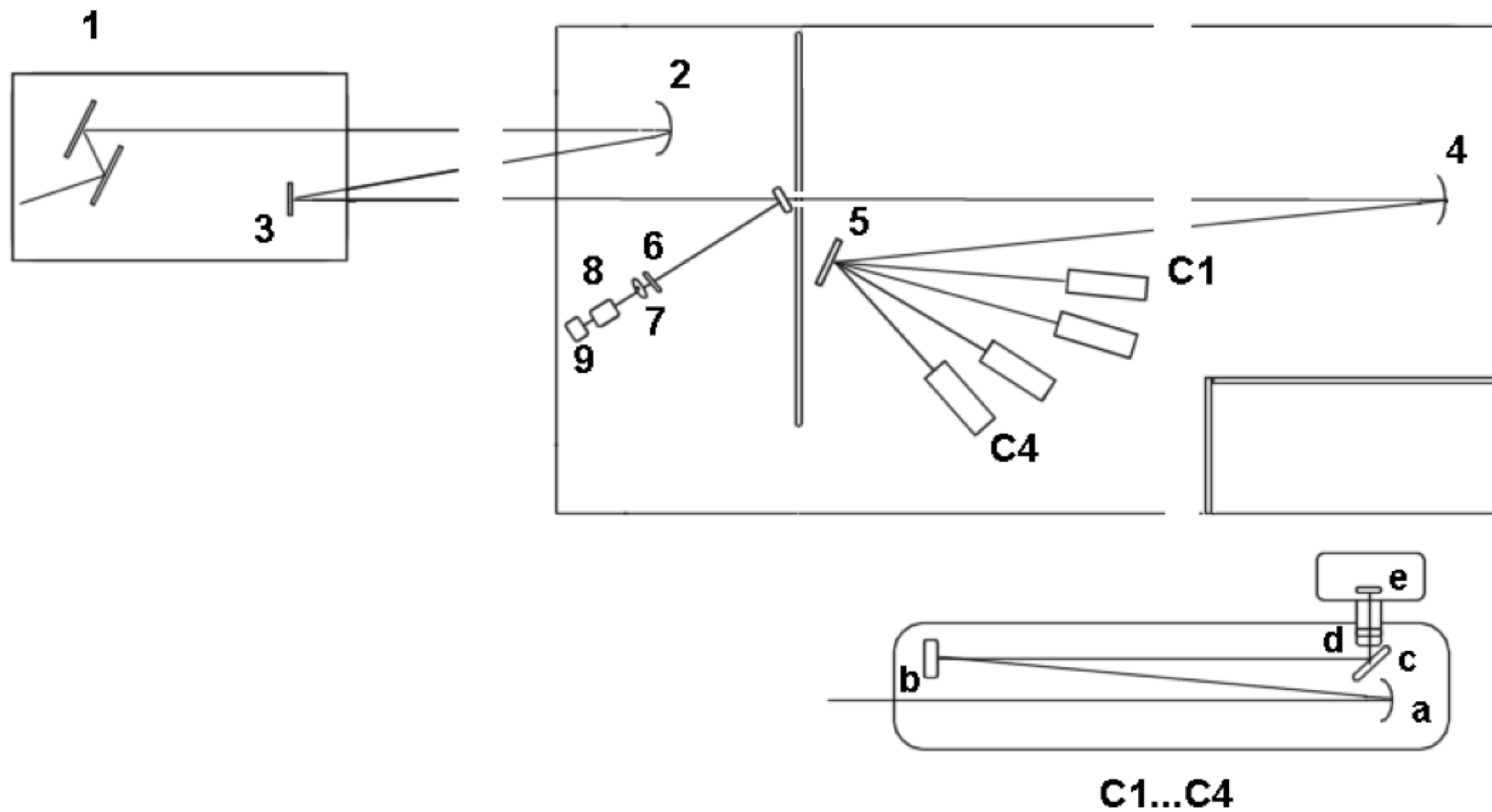
Formula 14:

$$W_{iG} = W_{iM-in} * \cos el_{in} * \cos \alpha$$

Formula 15:

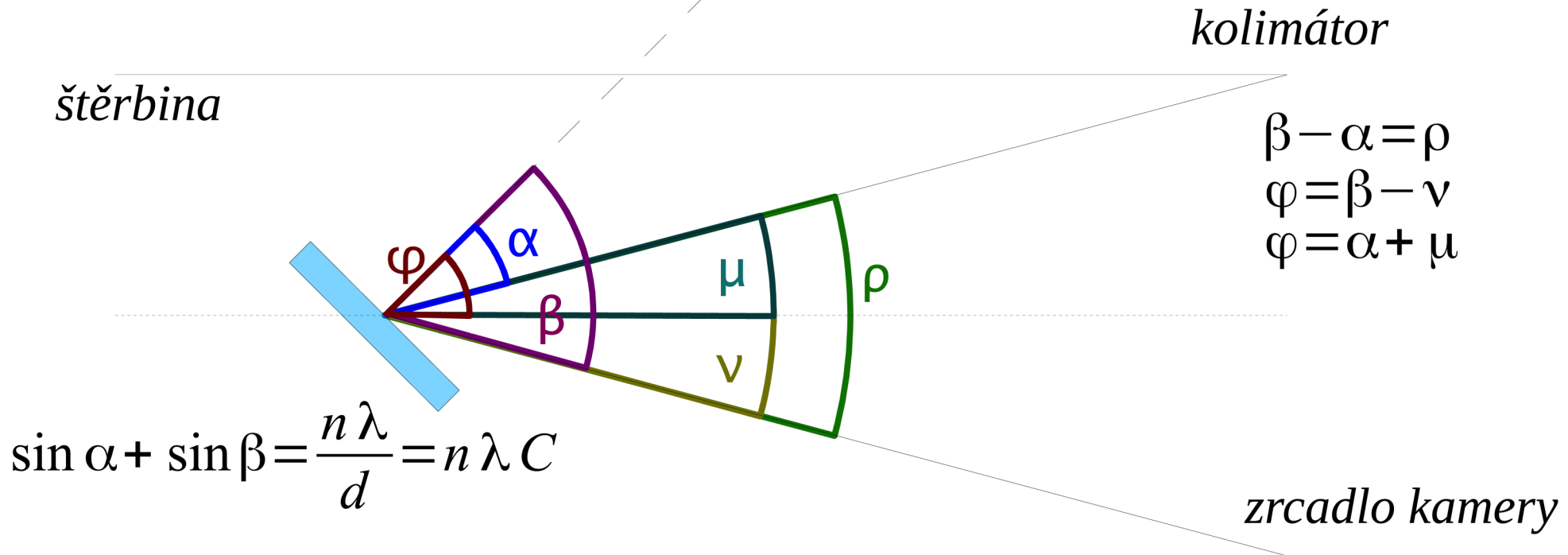
$$W_{iM-out} = W_{iG} * \cos el_{out} * \cos \beta$$

Spektrografy: Mnohakanálový



Výpočet úhlu natočení mřížky

Na tabuli



$$\sin \alpha = \frac{n \lambda C}{2} - \frac{\sin \rho}{\cos \rho + 1} \sqrt{\cos^2 \frac{\rho}{2} - \left(\frac{n \lambda C}{2} \right)^2}$$

$$\sin \beta = \frac{n \lambda C}{2} + \frac{\sin \rho}{\cos \rho + 1} \sqrt{\cos^2 \frac{\rho}{2} - \left(\frac{n \lambda C}{2} \right)^2}$$

$$\varphi = \frac{\alpha + \beta}{2} + \frac{\mu - \nu}{2}$$

Lineární rozlišení $dx = f_{\text{cam}} d\beta \rightarrow \frac{d\lambda}{dx} = \frac{d\lambda}{d\beta} \frac{d\beta}{dx} = \frac{1}{f_{\text{cam}}} \frac{1}{d\beta/d\lambda}$

Zvětšení štěrby $\Delta\alpha = W' / f_{\text{coll}}$ *úhlový rozměr štěrby na mřížce*

$$\Delta\beta = -\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} \Delta\alpha = -\frac{\cos\alpha W'}{\cos\beta f_{\text{coll}}},$$

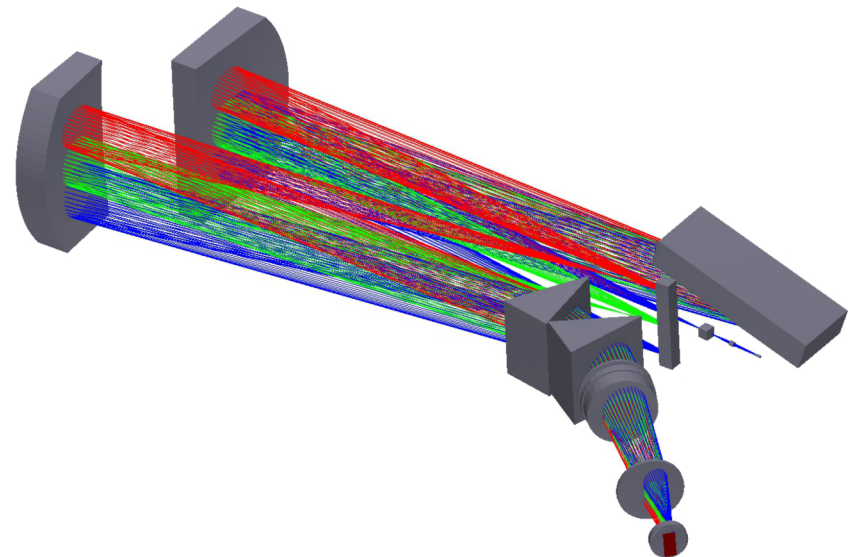
$$w = \Delta\beta f_{\text{cam}} = -\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} \frac{f_{\text{cam}}}{f_{\text{coll}}} W'$$

Spektrální rozlišení/čistota

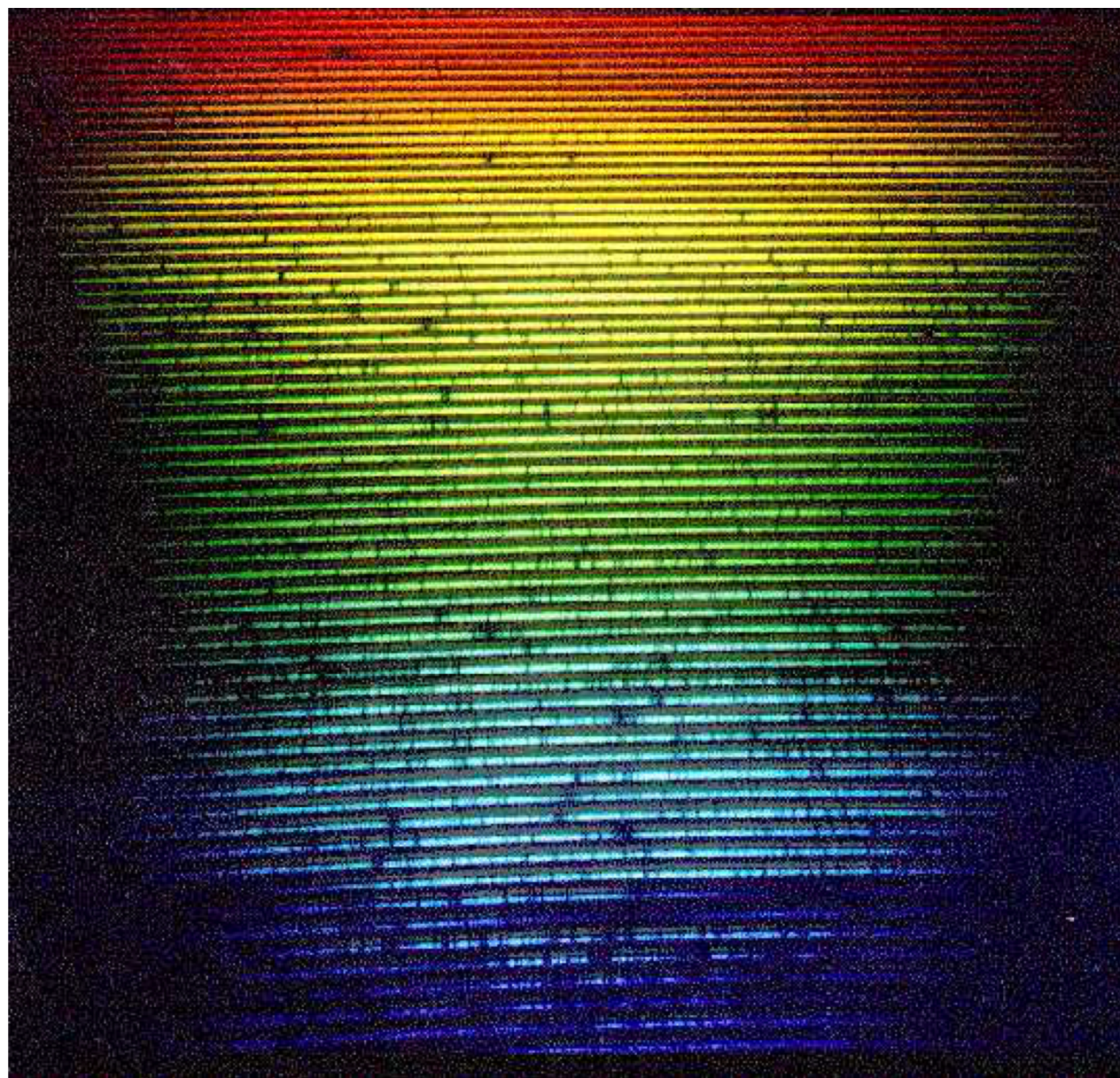
$$\Delta\lambda = w \frac{d\lambda}{dx} = -\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} \frac{f_{\text{cam}}}{f_{\text{coll}}} W' \frac{1}{f_{\text{cam}}} \frac{d\cos\beta}{n} = -\cos\alpha \frac{W'}{f_{\text{coll}}} \frac{d}{n}$$

pro případ, že rozšíření štěrbinou dominuje instrumentálnímu profilu

- Vysoce blazovaná mřížka použitelná ve vysokých řádech, které se překrývají
 - V sousedních řádech má maximum blazové křivky u jiné vlnové délky – vyšší řád = kratší λ
- Druhý disperzní element kolmo na první – rozdělí překrývající se řády do 2-D spektra



Echellogram



řád



OES – Ondřejov Echelle Spectrograph

Order number	Start (Å)	Centre (Å)	End (Å)				
91	3870	3895.6	3919				
90	3913	3938.9	3962				
89	3957	3983.2	4007				
88	4001	4028.4	4053				
87	4048	4074.7	4099				
86	4095	4122.1	4147				
85	4143	4170.6	4196				
84	4192	4220.3	4246	66	5336	5371.2	5404
83	4243	4271.1	4297	65	5417	5453.9	5487
82	4295	4323.2	4349	64	5502	5539.1	5573
81	4347	4376.6	4403	63	5590	5627.0	5661
80	4402	4431.3	4458	62	5679	5717.8	5753
79	4457	4487.4	4515	61	5772	5811.5	5847
78	4514	4544.9	4572	60	5869	5908.4	5945
77	4573	4603.9	4632	59	5968	6008.5	6045
76	4633	4664.5	4693	58	6071	6112.1	6149
75	4695	4726.7	4755	57	6178	6219.3	6257
74	4758	4790.6	4820	56	6287	6330.4	6369
73	4824	4856.2	4886	55	6402	6445.5	6485
72	4890	4923.6	4954	54	6520	6564.9	6605
71	4960	4993.0	5023	53	6643	6688.7	6730
70	5030	5064.3	5095	52	6772	6817.3	6859
69	5104	5137.7	5169	51	6905	6951.0	6994
68	5178	5213.3	5245	50	7042	7090.0	7134
67	5255	5291.1	5323				

- MSDP (Multichannel Subtractive Double Pass)
 - V cestě soustava hranolů, supluje multišterbinu
 - Světlo jde přes mřížku dvakrát, jednou rozklad světla do spektrální čáry, podruhé pro vytvoření 2-D obrazu v daném místě spektrální čáry
 - Výsledkem je 3-D spektrum (x, y, λ)
 - Vlnová délka se mění v rámci jednoho kanálu
- Optická vlákna
 - Používá se pro hvězdy, pro Slunce prakticky ne
 - Předvrtané masky

*MSDP/THEMIS, rozlišení
0,2"/80 mÅ, zorné pole až 80"*

