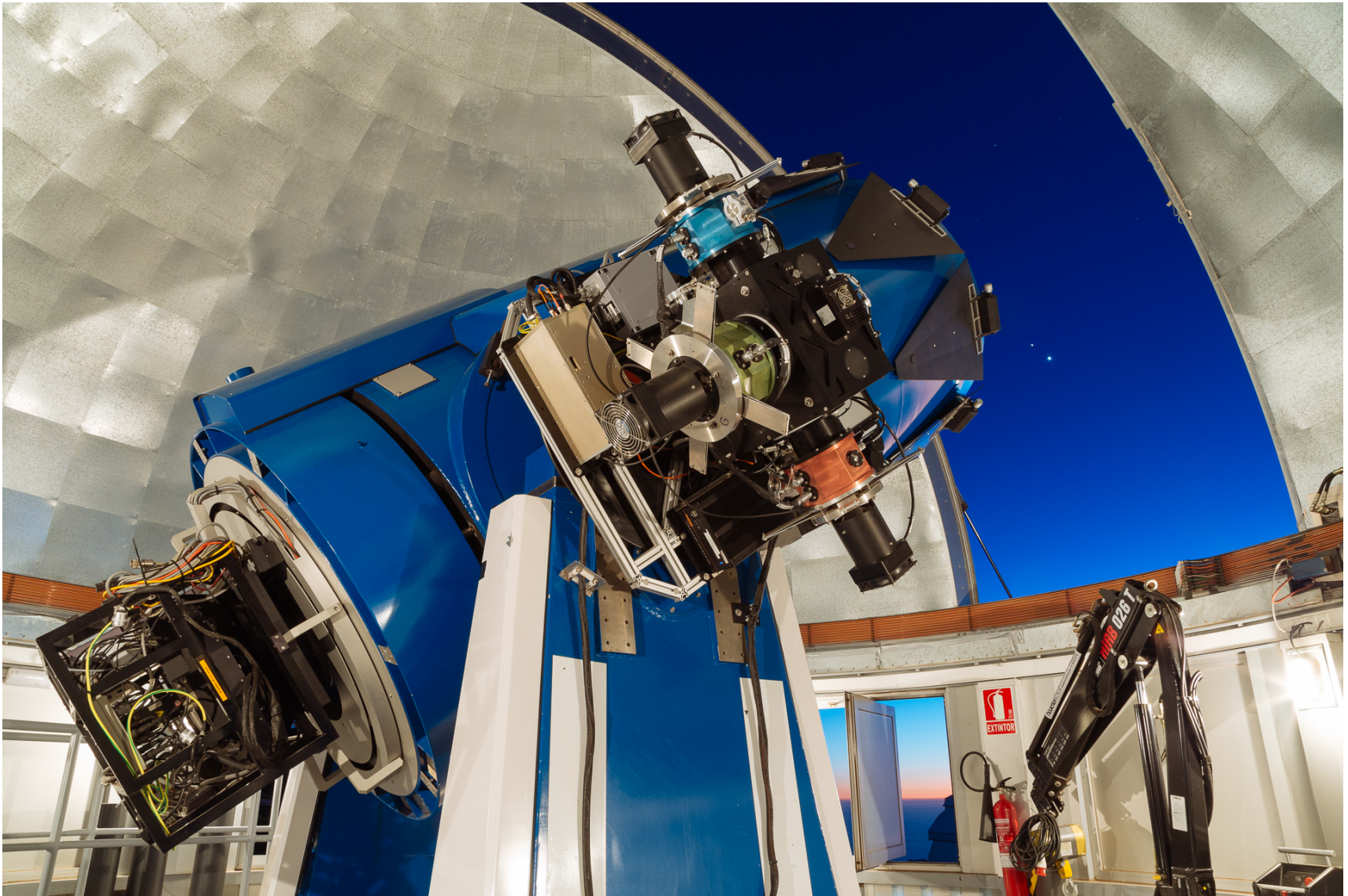






De Mercator telescoop: 1.2m telescoop te La Palma (Spanje)

Wat komt

- astrofysica = fysica op afstand
- de Mercator telescoop
- spectrale waarnemingen
- de spectrograaf HERMES
- spectrale waarnemingen met Mercator en HERMES
- enkele voorbeelden van wetenschappelijk onderzoek
- meten op afstand





EM straling is zwak omdat ruimte zo groot is

Schaal: 1: 100 miljard ofte $1:10^{11}$

- Zon: 14mm
- 1 AU: 150 cm
- Afstand Zon tot Mars: 228 cm
- Afstand Zon tot Jupiter: 7.8 m
- Afstand Zon tot Saturnus: 28.8 m
- Afstand Zon tot Neptunus: 45 m
- Kuipergordel: 82m
- Oortwolk: tot 200 km
- Proxima Centaurus: 400 km
- Binnen 1000 km: 23 sterren
- Gemiddelde afstand tussen sterren: 400 km
- Het Melkwegstelsel: 9.5 miljoen km op deze schaal...



Uitdagingen

Hoeveel fotonen per cm^2 en per $\text{\AA}$ (visueel) en per seconde krijgen we op aarde van Rigel (orion) ?



Astronomy Picture of the day (7/2/2003)

Uitdagingen

Hoeveel fotonen per cm^2 en per $\text{\AA}$ (visueel) en per seconde krijgen we op aarde van Rigel (orion) ?

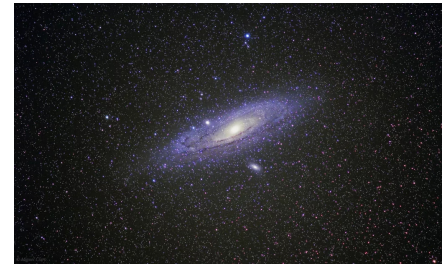
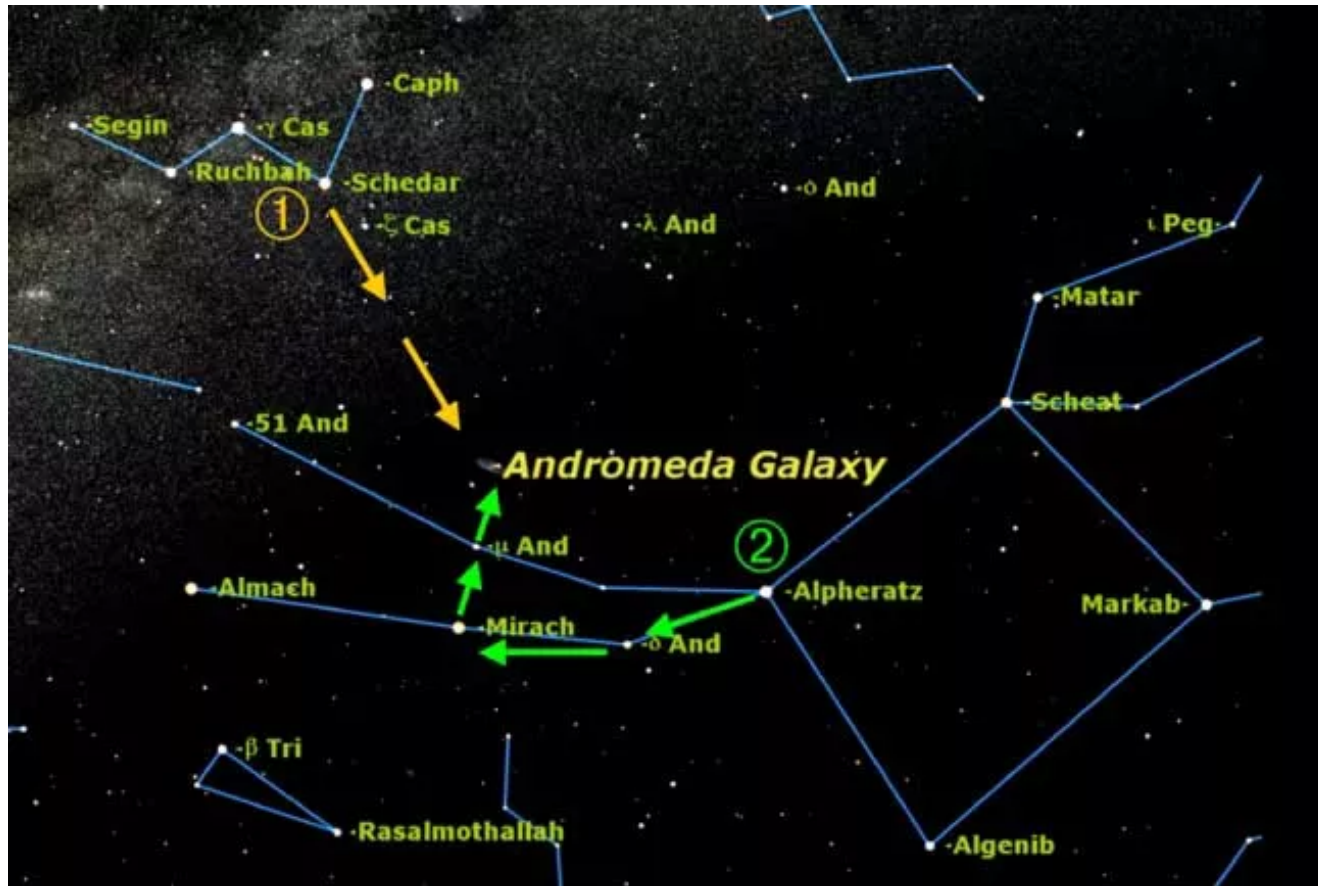
~ 1000

Typische waarden voor het totale vermogen per oppervlak (som over alle golflengtes samen) van sterren die we kunnen meten met Mercator:

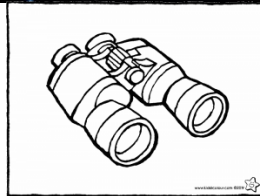
$\sim \text{milliWatt/km}^2$



Andromeda



2.5 miljoen lichtjaar



Wat zijn de 5 meest voorkomende chemische elementen in de Zon ?

?

Wat zijn de 5 meest voorkomende chemische elementen in de Zon ?

H, He, O, C, Ne



98.7% van de totale massa van de zon

X = 0.75 massa fractie van H

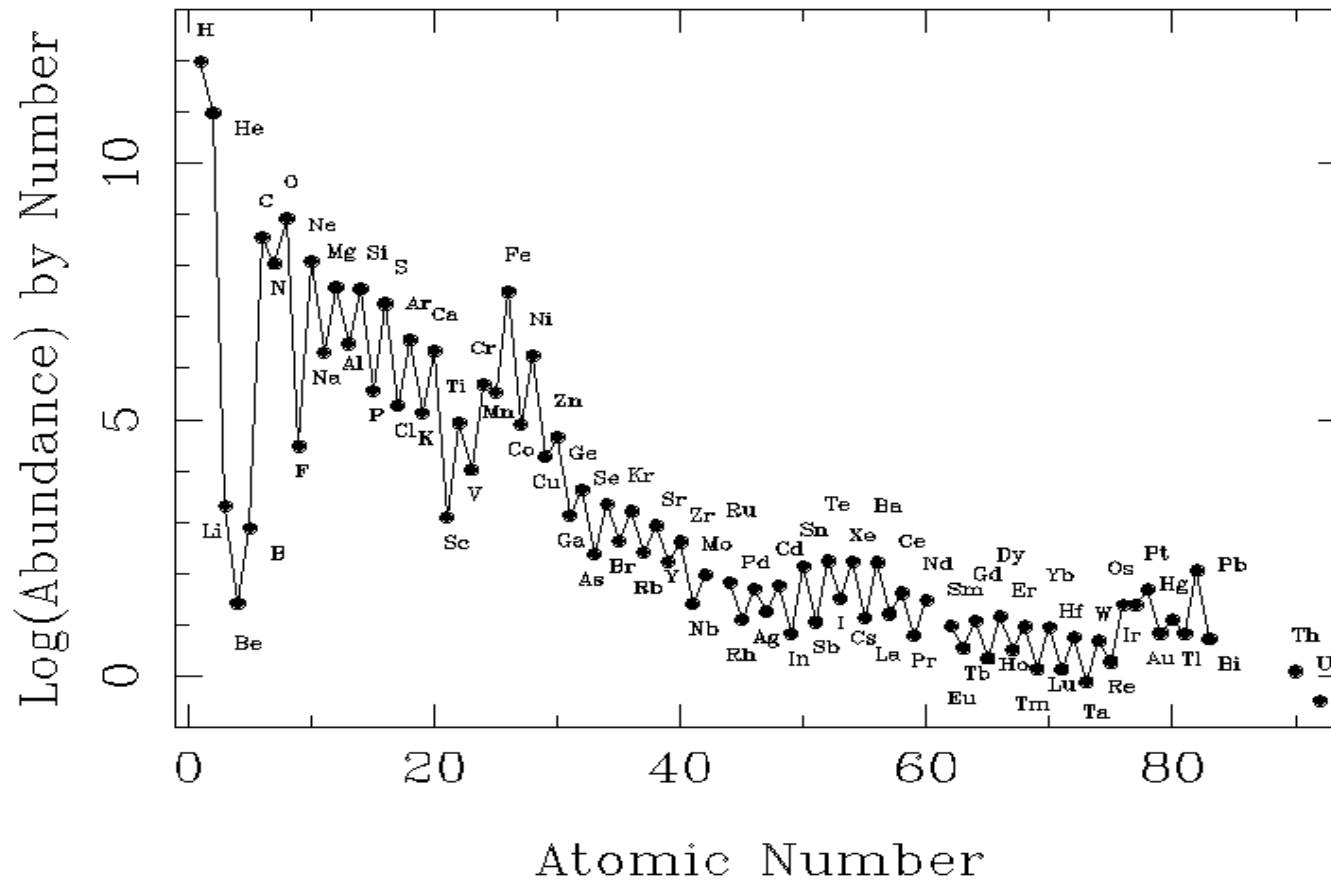
Y = 0.24 massa fractie van He

Z = 0.013 massa fractie van al de rest

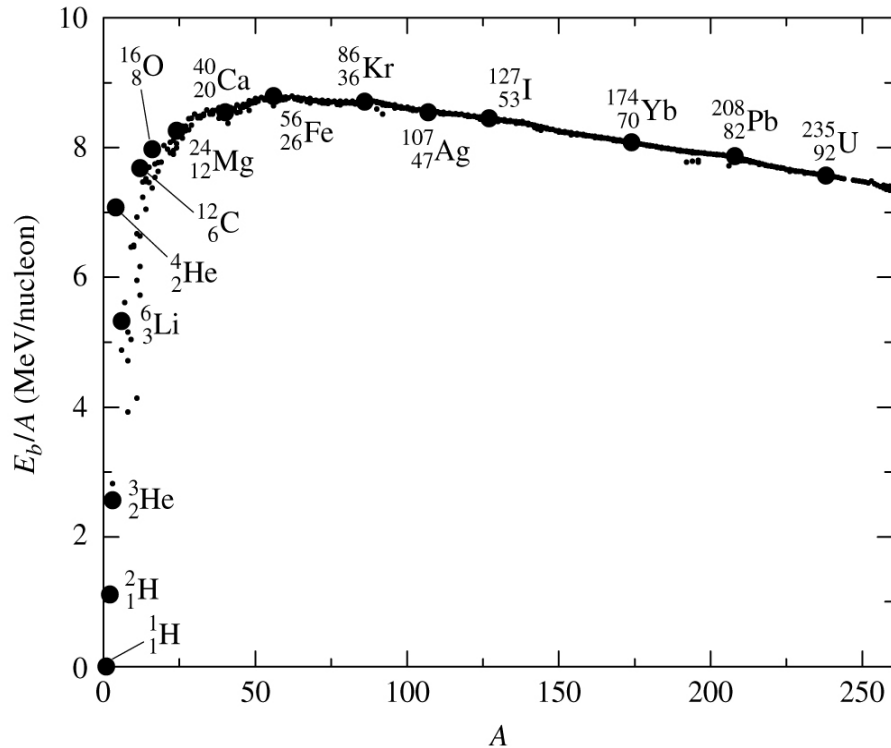


Solaire abundances

Logarithmic SAD Abundances: $\text{Log}(H) = 12.0$



Solaire abundanties



Nodig om de Cosmische
abondanties te verklaren ?

- Nucleosynthese
- Atomaire fysica
- Kernfysica
- Stellaire Evolutie
- Galactische Evolutie
- Productievolumes van sterren
- Stervormingsgeschiedenis
- Massa distributie bij stervorming
- Big Bang nucleosynthese
- ...
- ...

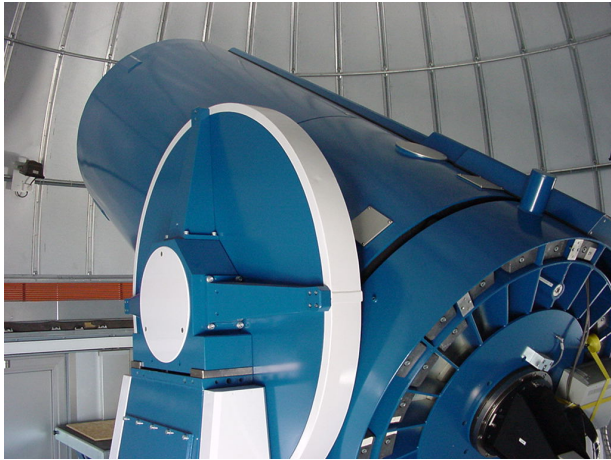
Uitdagingen (astro)fysica op afstand

- EM straling is zwak omdat de ruimte zo groot is.
- Astrofysica: interactie tussen straling en materie (gas of stof). Via specifieke metingen willen we iets leren over thermodynamische grootheden (temperatuur, dichtheid); de chemische samenstelling; de kinematica etc. etc.
- Heel groot bereik aan dichtheden (vacuum tot zwart gat); temperaturen (3K tot miljoenen K): extreme fysica
- Gelukkig is het universum chemisch vrij eenvoudig



De Mercator telescoop

lat.: 28deg 45' 44" N
long.: 17deg 52' 42" W
alt. : 2333 m



Alt-Azimuth montering

M1: 1200 mm

F1: 3360 mm

M2: 305 mm

F2: -996.7 mm

Ritchey-Chretien optica

F/12: F 14400 mm

FOV: 20 arcmin

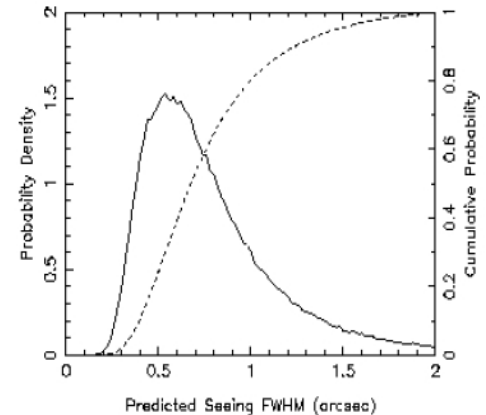


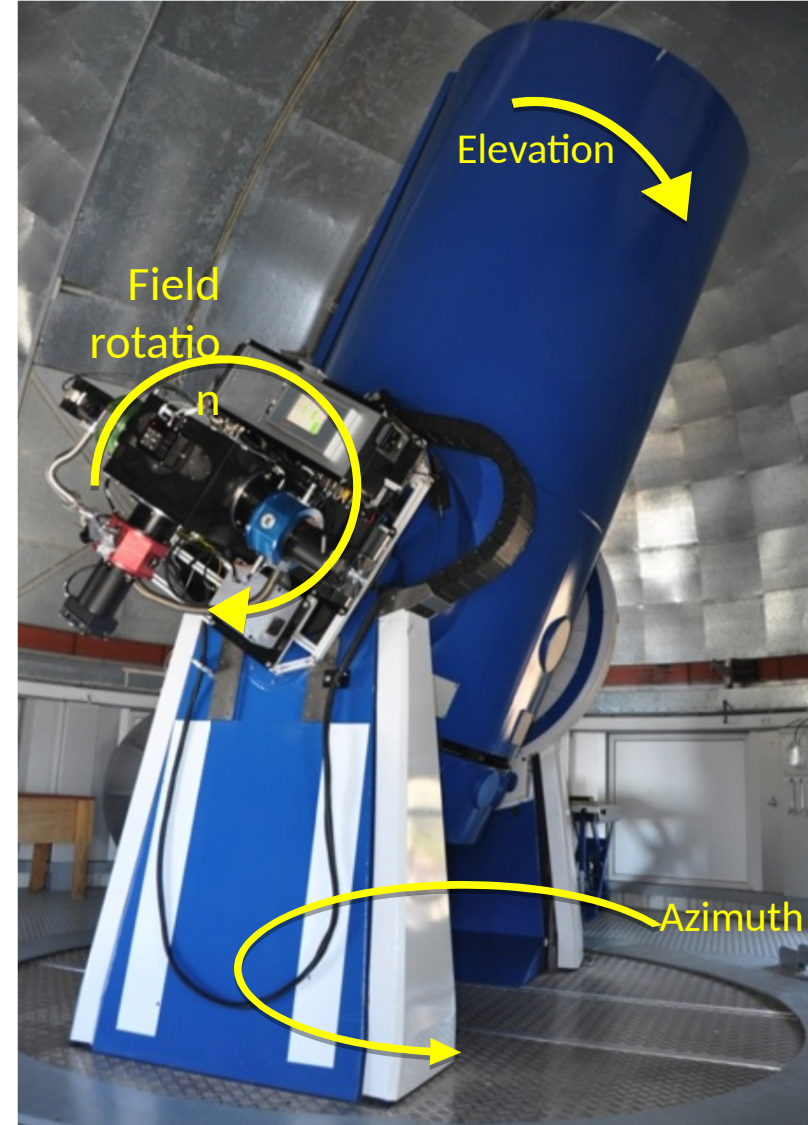
Fig. 21. Seeing at the Roque de Los Muchachos (ING figure).

PS: 14 "/mm or 69.8 $\mu\text{m}/\text{arcsec}$

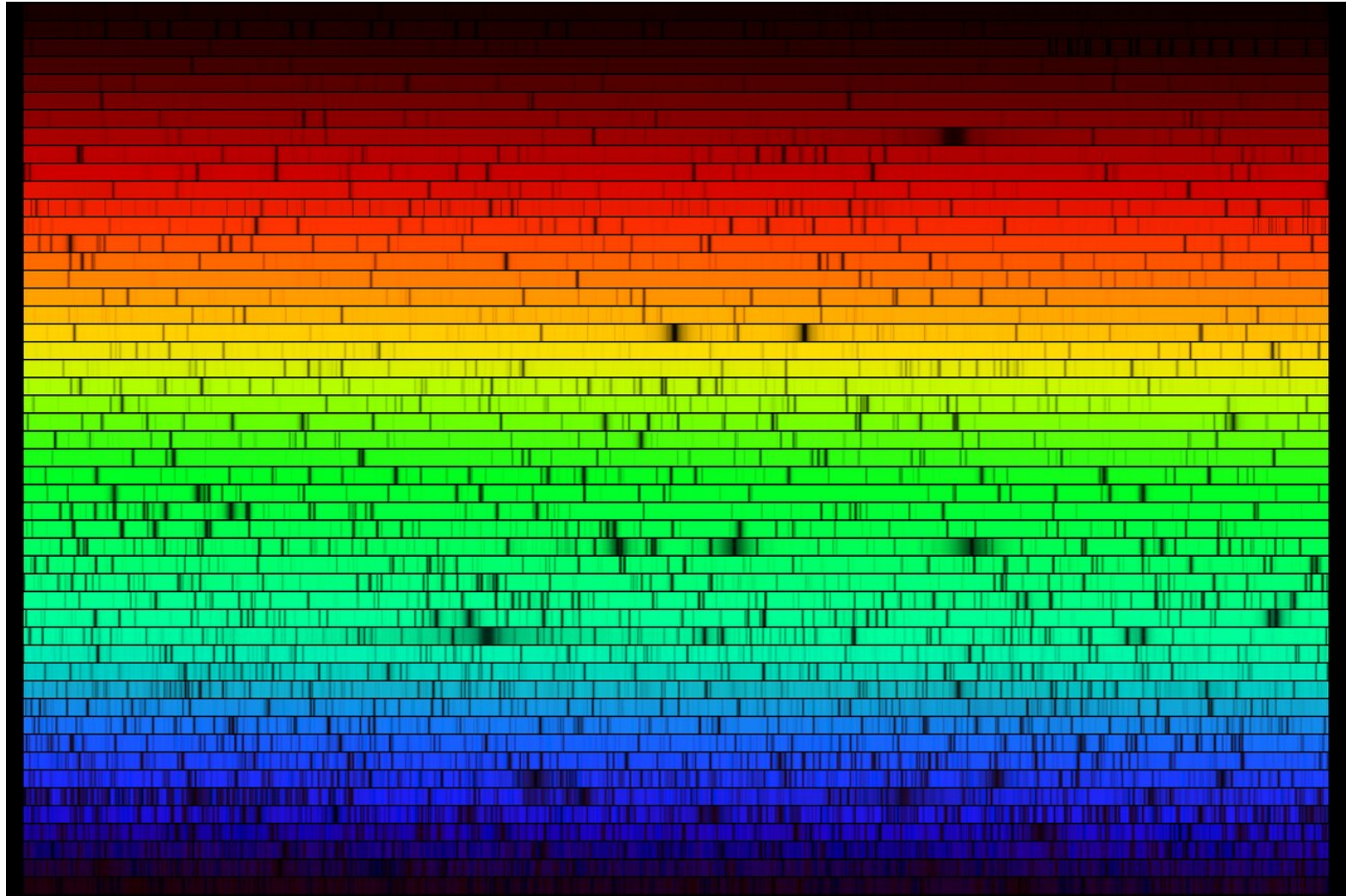


De Mercator telescoop

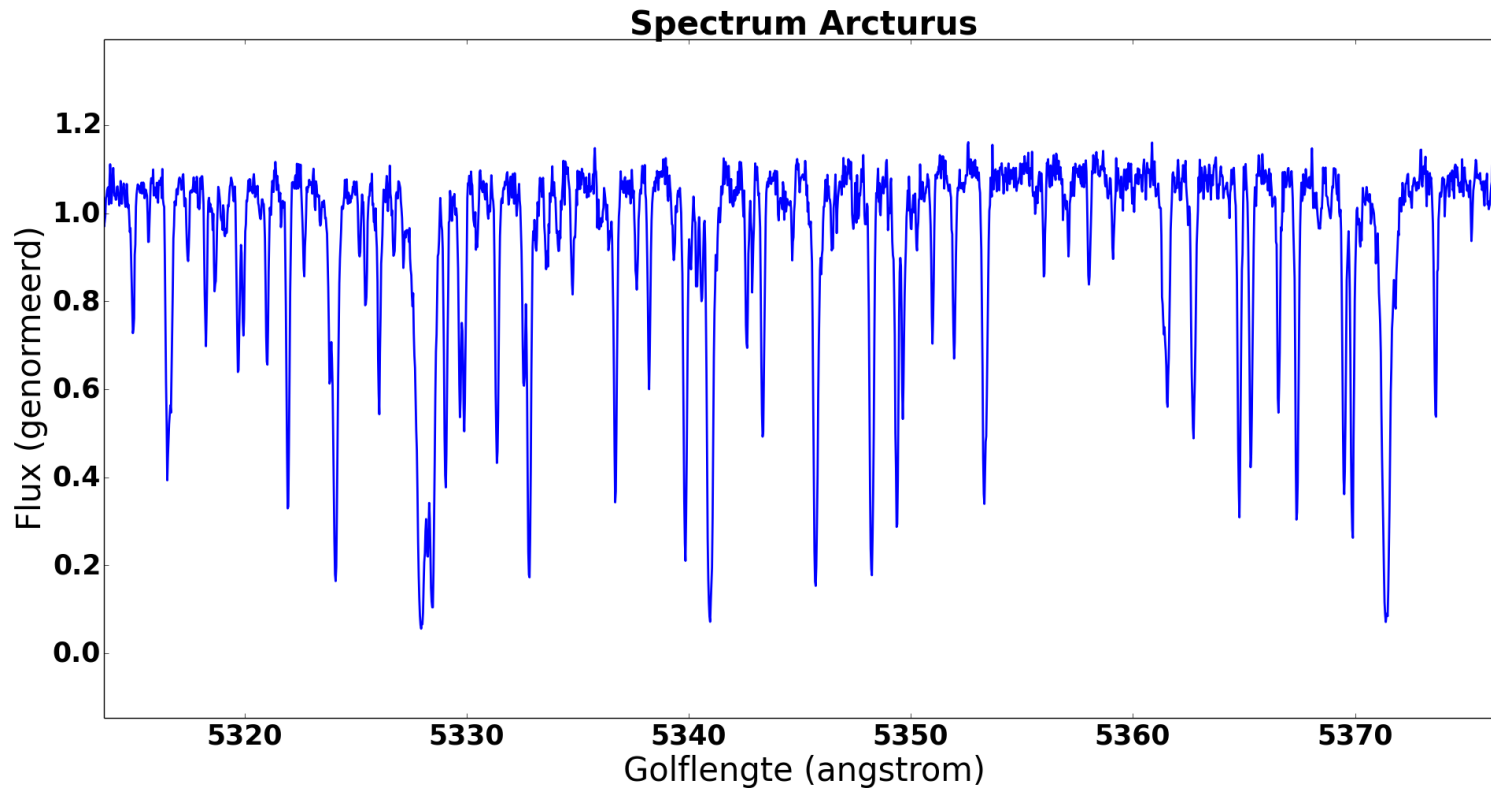
- Alt-Azumuth montering
- 1.2m diameter hoofdspiegel
- 9000 kg bewegende massa
- Roque de los Muchachos sterrentwacht (La Palma)
- In gebruik sinds 2001 met ingebruikname van HERMES spectrograaf in 2009.



Spectrale waarnemingen

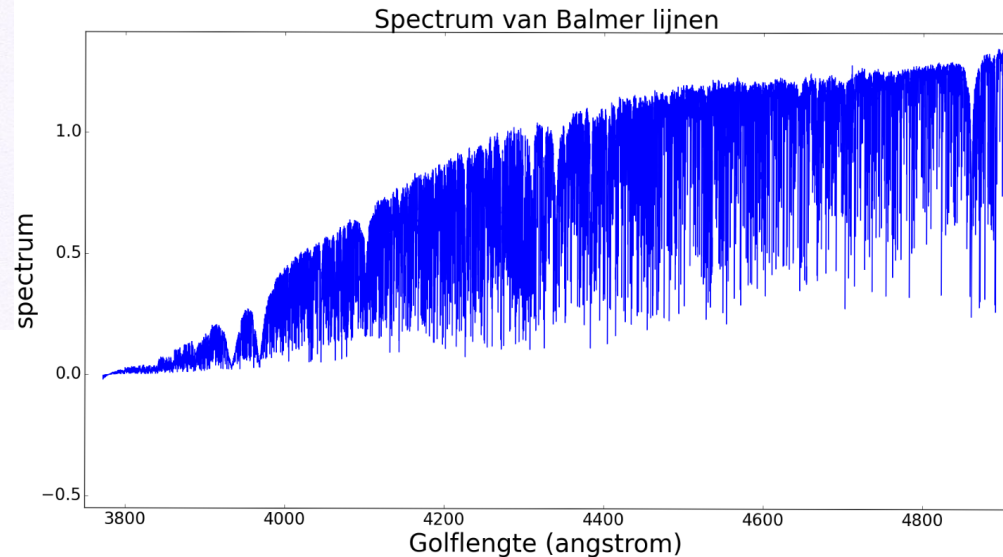
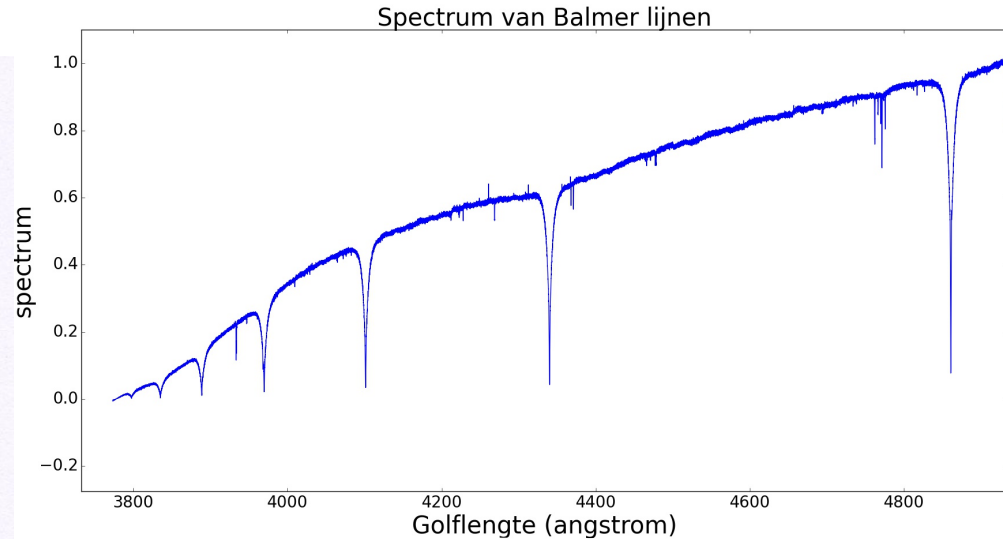
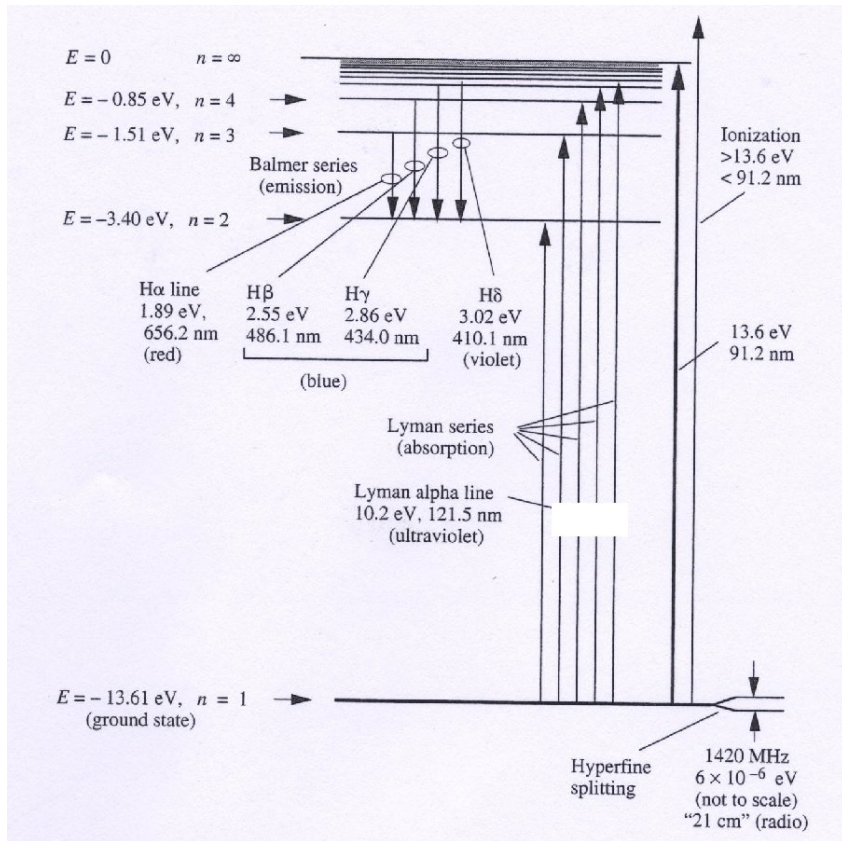


Hoge-resolutie spectrale waarnemingen



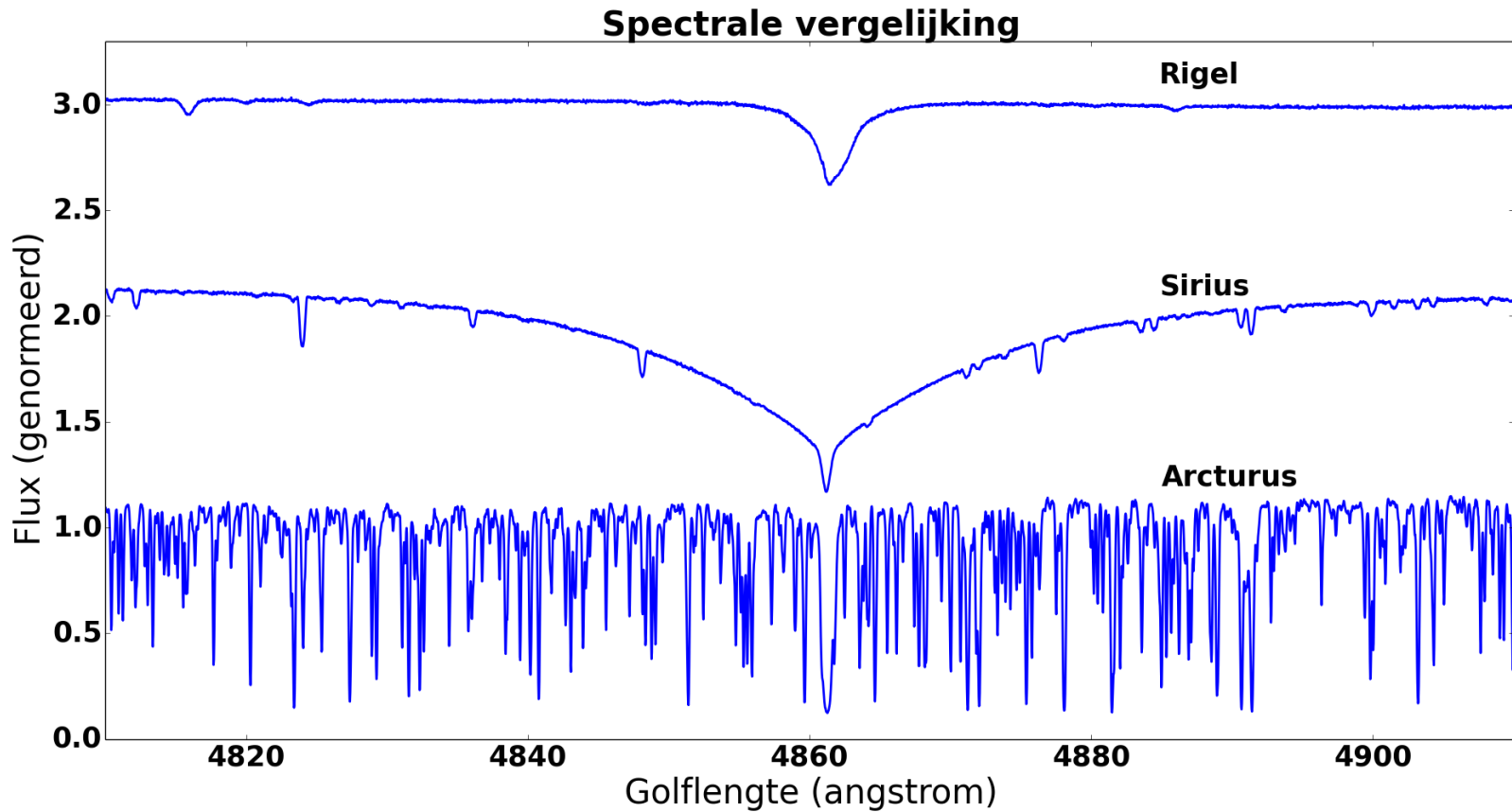
Licht opgesplitst naar golflengte → spectrale lijnen worden zichtbaar.
Op die golflengtes is de ster zwakker → absorptielijnen.
Golflengte van een lijn is evenredig met E van een gebonden-gebonden overgang van een element.

Voorbeeld: waterstof lijnen



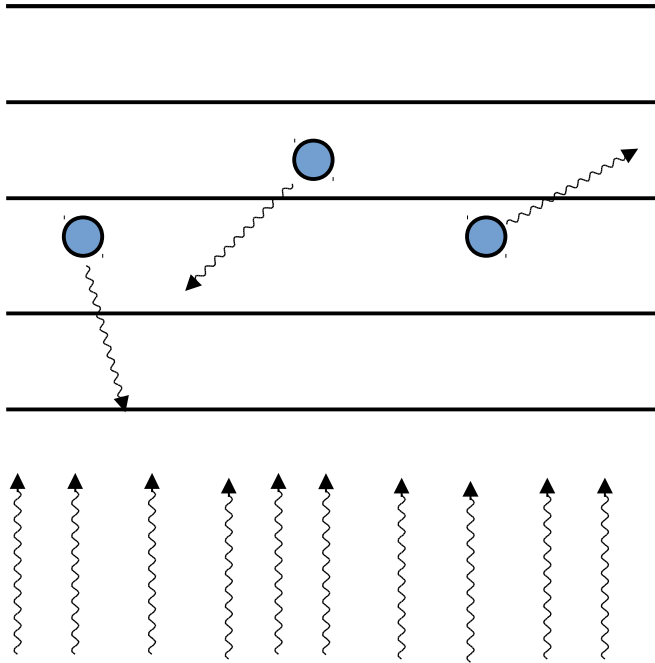
Hoge eerste aangeslagen toestand

Hoge-resolutie spectrale waarnemingen

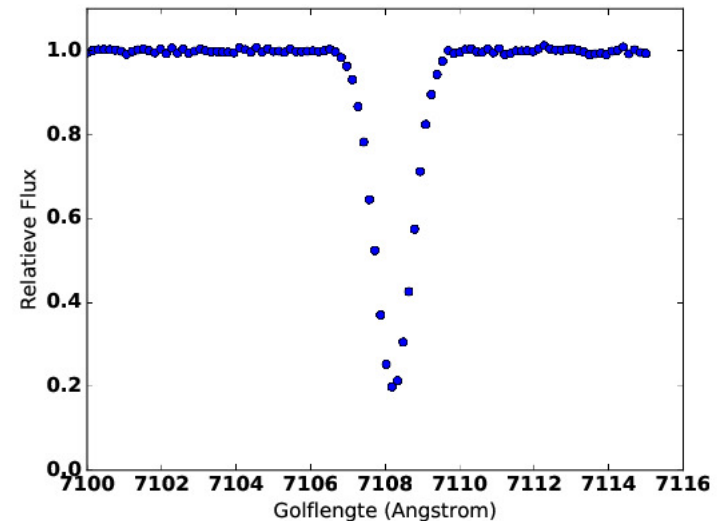


Ster spectra zijn heel divers. Zowel naar welke lijnen we zien, als naar de lijnprofielen

Hoge-resolutie spectrale waarnemingen

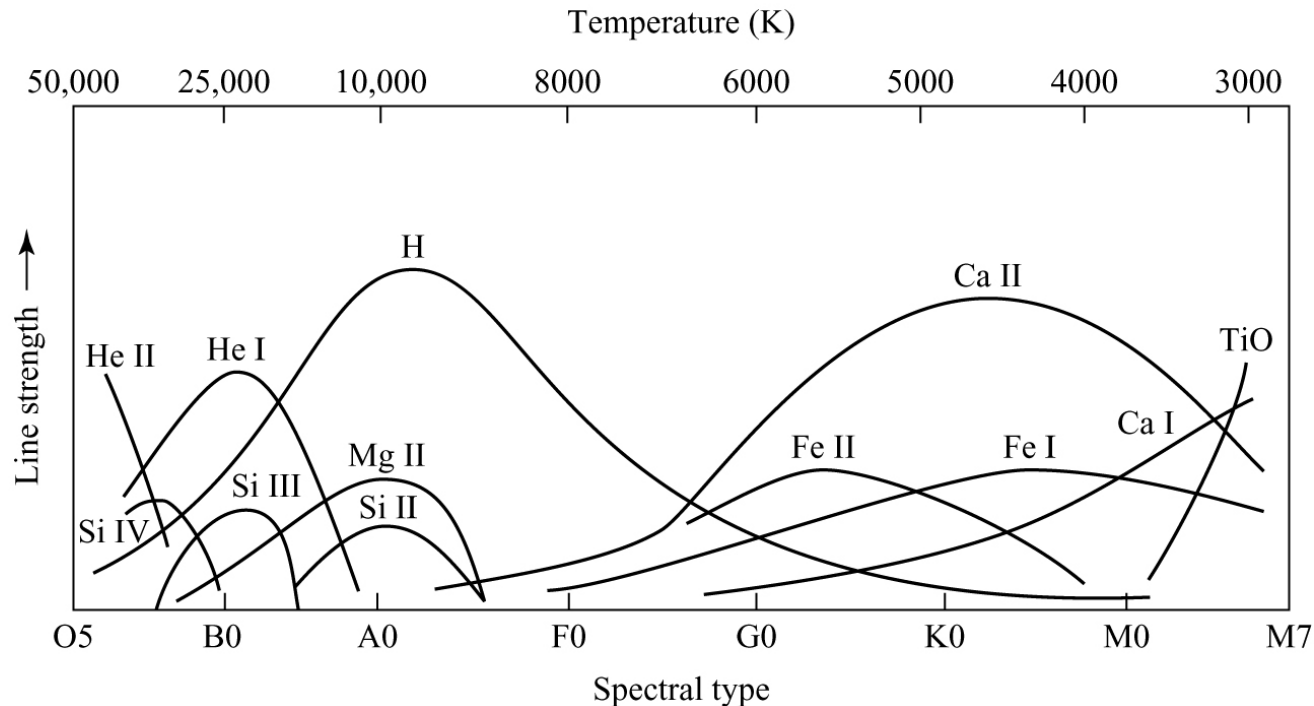


- Sterlicht gaat door de sterfotosfeer en specifieke fotonen met juiste energie zullen atomen exciteren
- Deëxitatie gebeurt met emissie van een gelijkaardig foton maar deze emissie is willekeurig in richting.
- Netto effect is een absorptielijn

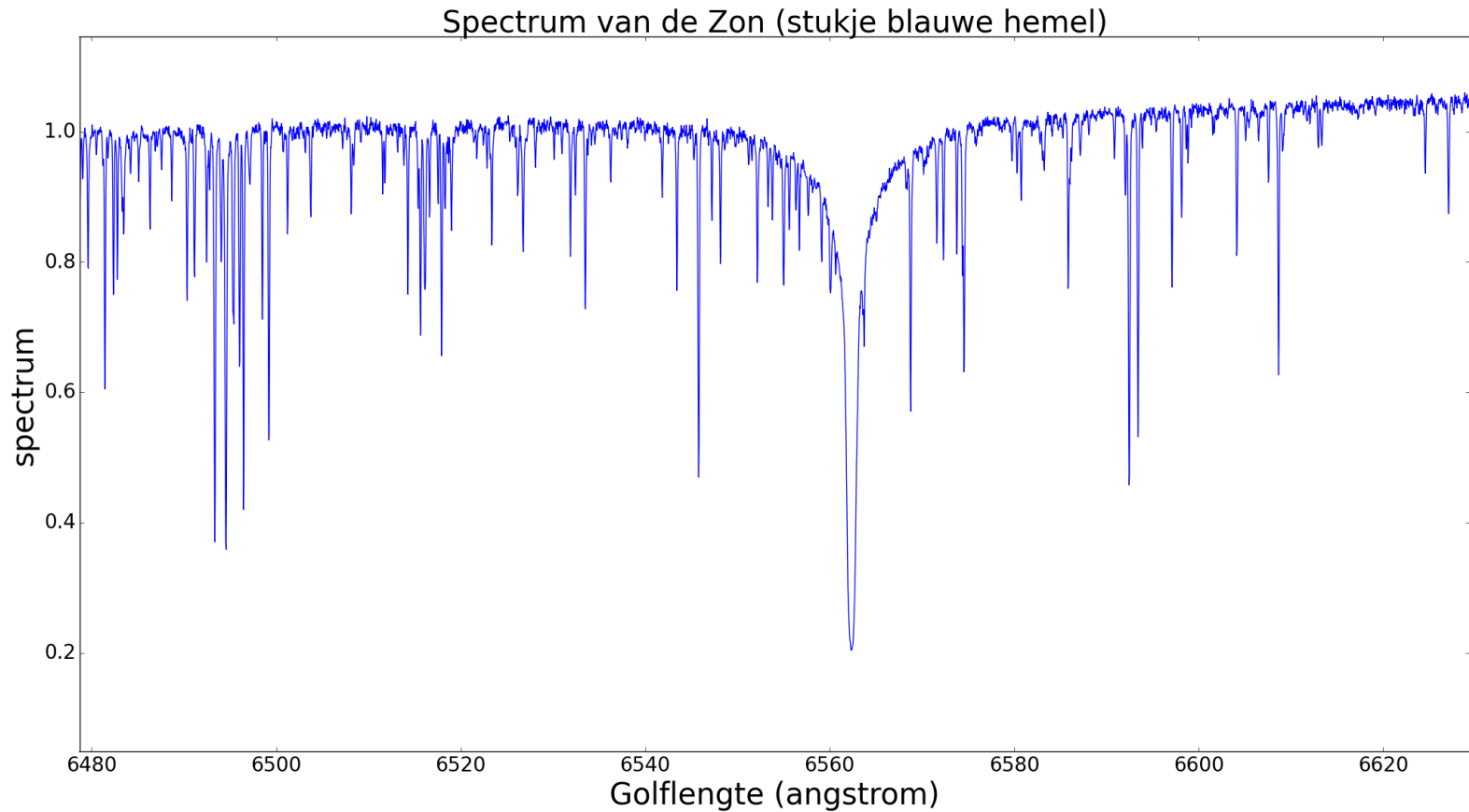


Hoge-resolutie spectrale waarnemingen

- Sterkte v.e. spectraallijn is afhankelijk van aantal atomen in de juiste toestand
- Dit wordt bepaald door:
 - Temperatuur
 - Dichtheid
 - Chemische Samenstelling
 - Overgangswaarschijnlijkheid



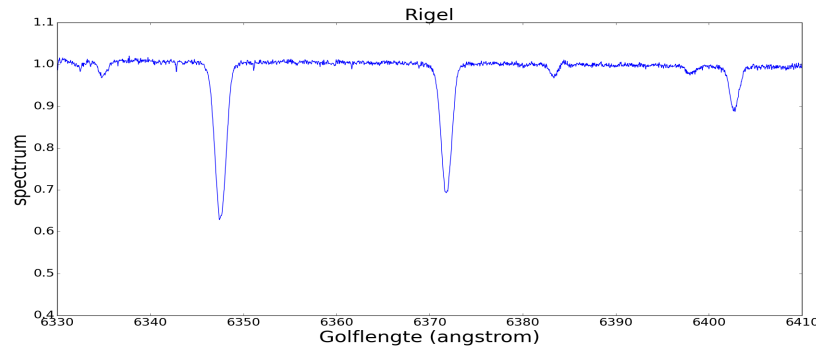
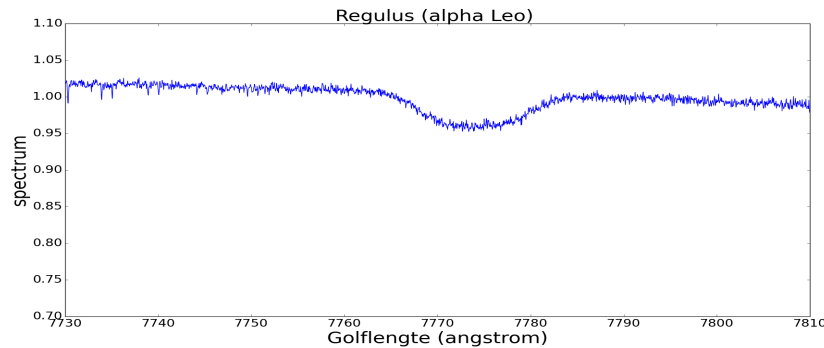
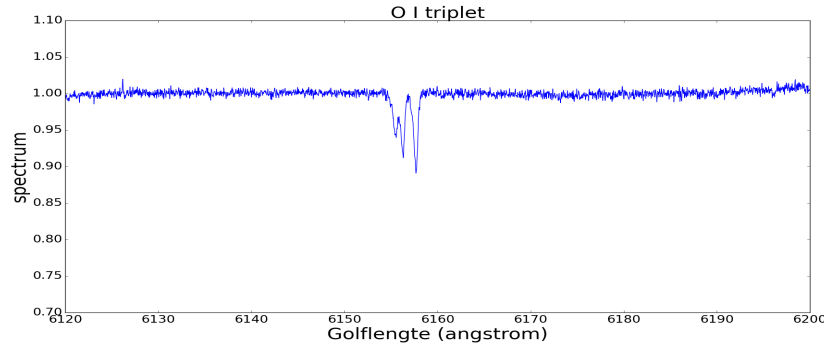
Voorbeeld: Zonnespectrum



Intermezzo: het Zonnespectrum met HERMES

Hoge-resolutie spectrale waarnemingen

Spectrale lijn is geen δ -functie: profiel is een overgangswaarschijnlijkheid



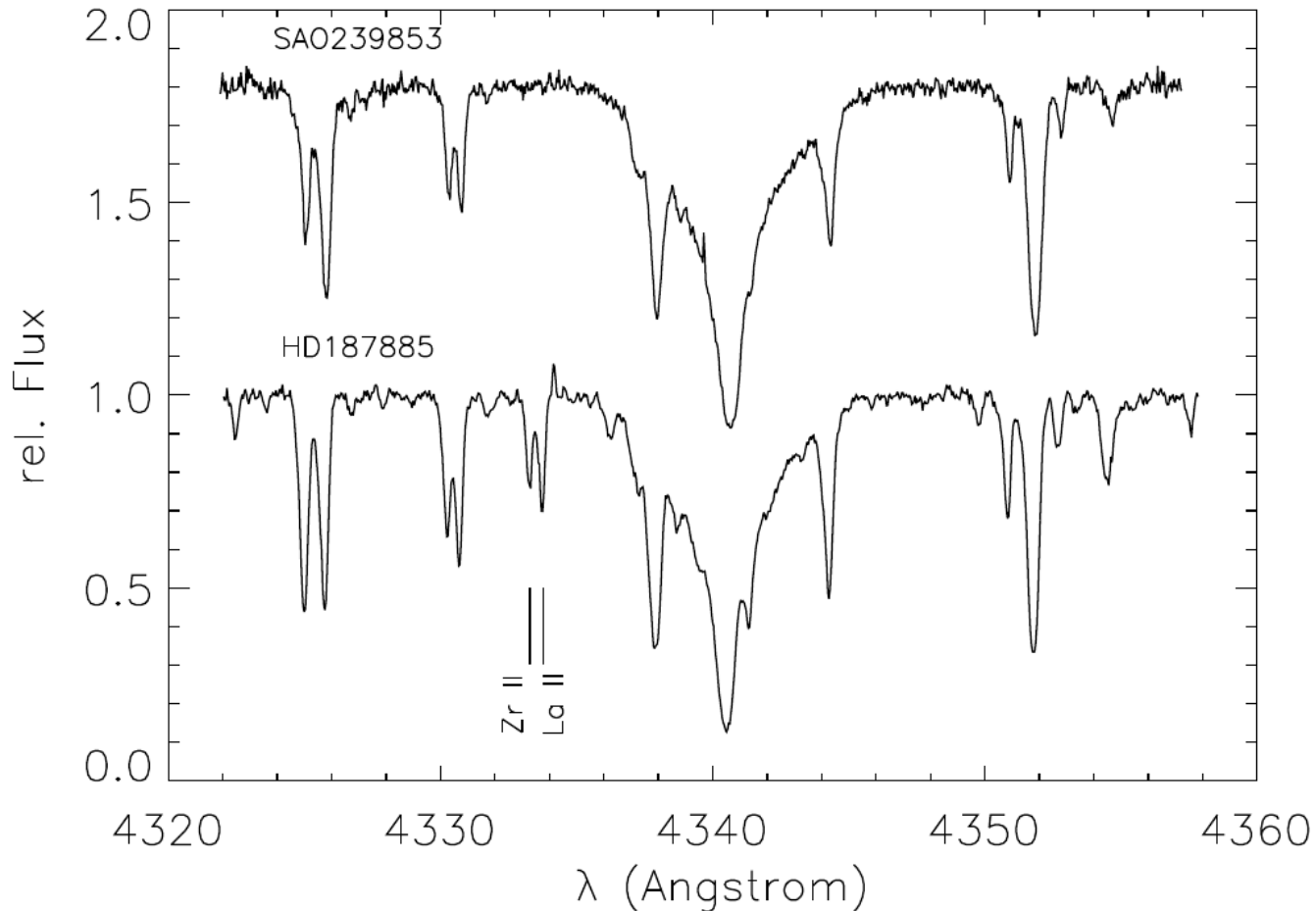
Microscopisch:

- Thermische Verbreding
- Drukverbreding
- Natuurlijke verbreding

Macroscopisch:

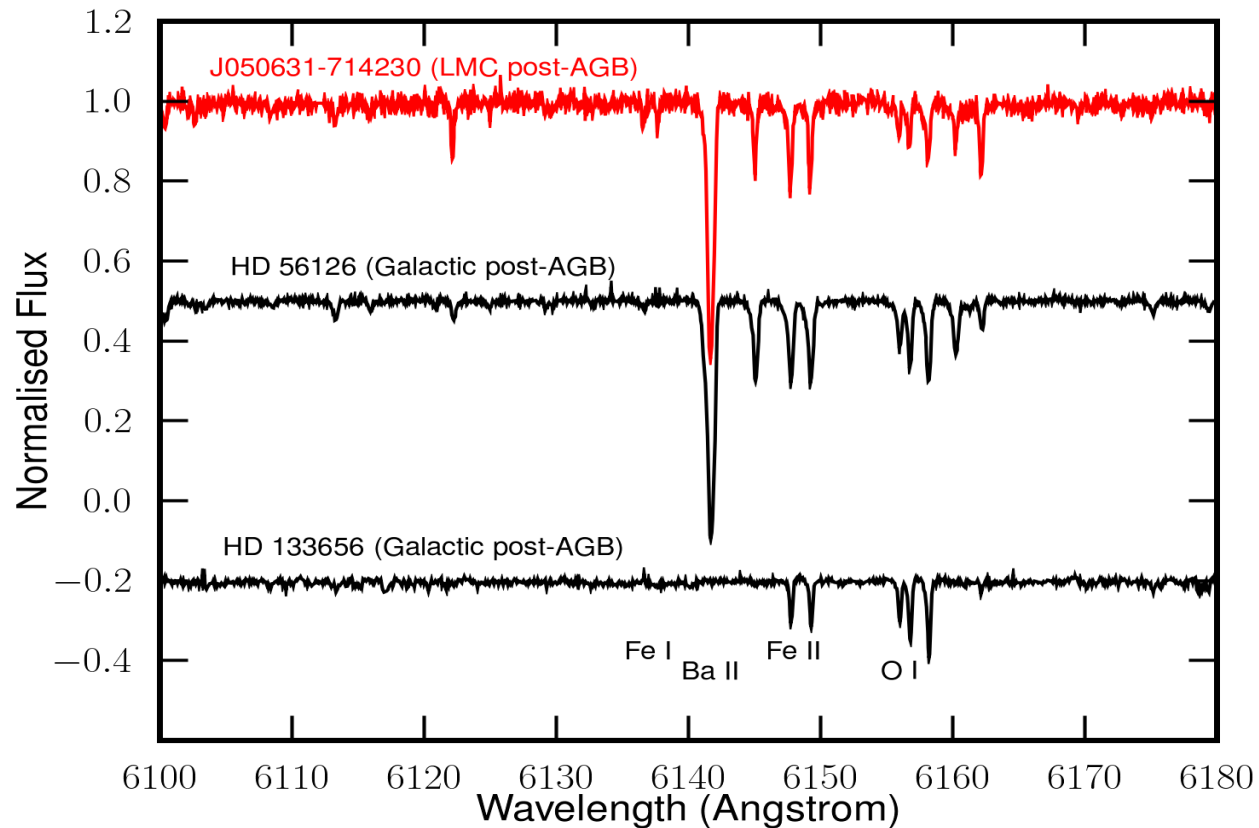
- Stellaire rotatie
- Stellaire pulsaties

Kracht van hoge-resolutie spectrale waarnemingen



Op 10^{12} deeltjes H, zijn er $10^{2.60}$ Zr en $10^{1.18}$ La in de zon

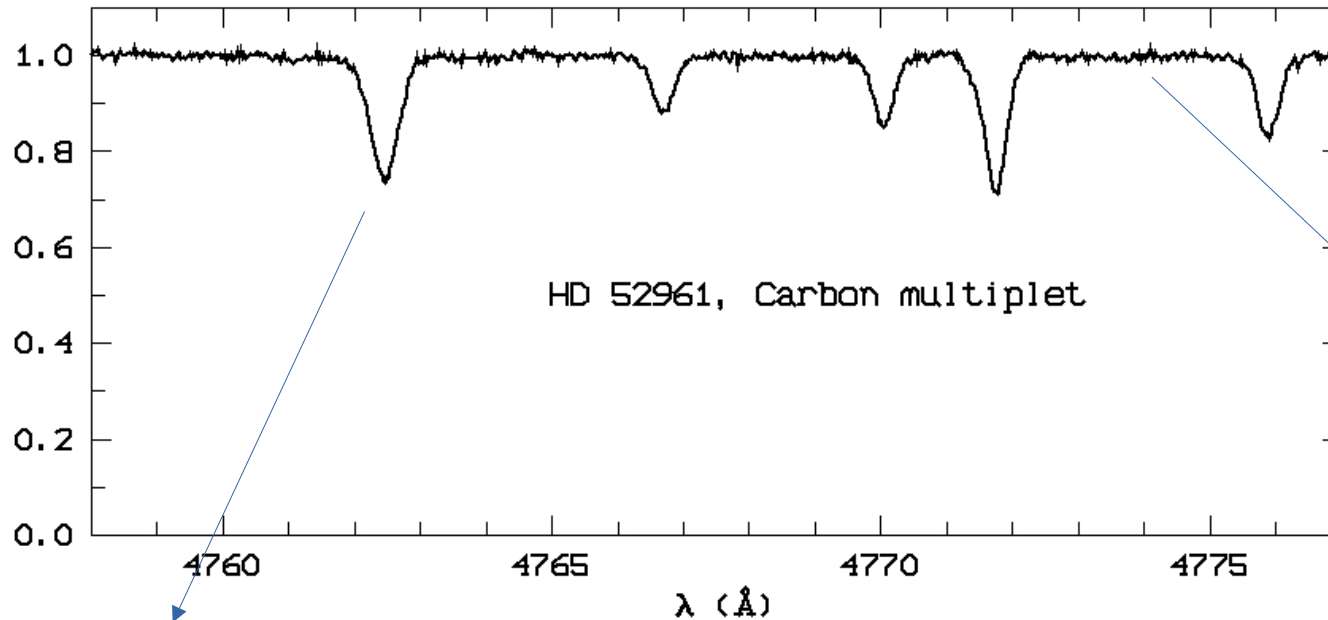
Kracht van hoge-resolutie spectrale waarnemingen



Chemische samenstelling van sterren uit externe melkwegstelsels

Spectrale waarnemingen met Mercator

- Sterkte van een spectraallijn =
functie(T_{eff} , $\log(g)$, chemische samenstelling)
- Groot golflengtebereik !
- Goeie sampling is nodig



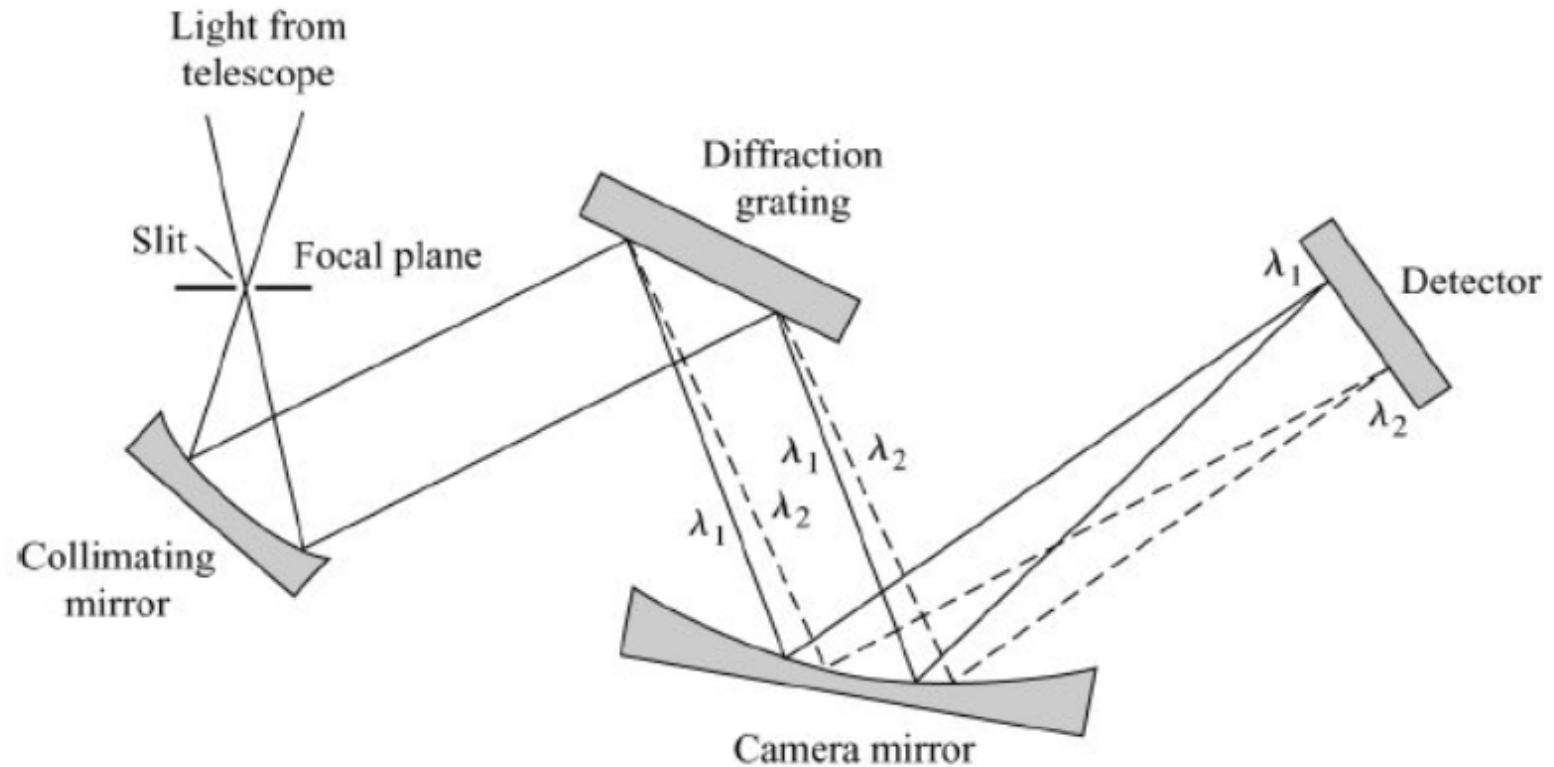
S/N: kleine
telescoop
dus een
efficiënt
instrument
is nodig

Radiale snelheid: $(\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = \text{snelheid} / c$

Hoge resolutie: 85 000 komt overeen met 3.5 km/s in V

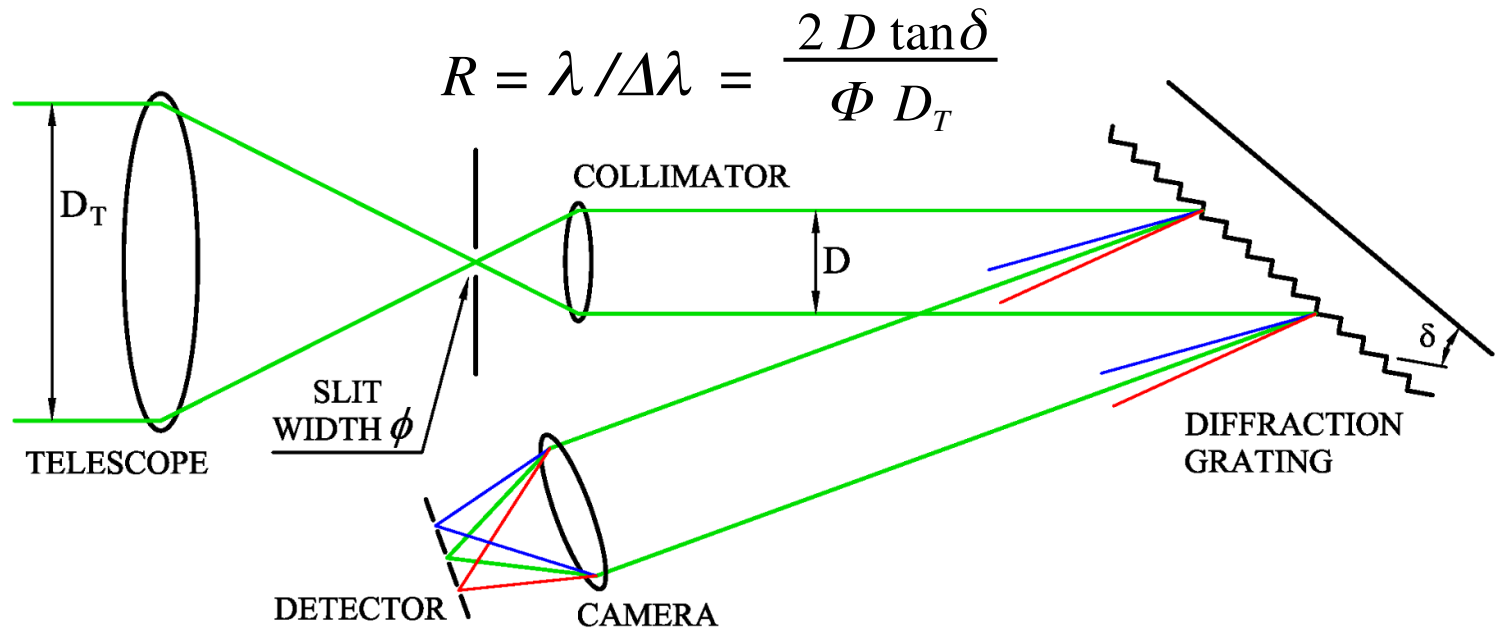
Grote stabiliteit: nauwkeurig tot ~ 10 m/s...Groot spectraal bereik helpt

Hoe maak je een spectrograaf ?



Basis ontwerp van vele meetinstrumenten

Hoe maak je een spectrograaf ?



Hoge Spectral resolutie:

- een kleine telescoop (diameter **D_T**) helpt
- kleine slit **ϕ**
- grote beam-grootte **D** : grote optische elementen

Efficiëntie:

- grote **D_T**
- brede slit **ϕ**

DiffRACTIE rooster

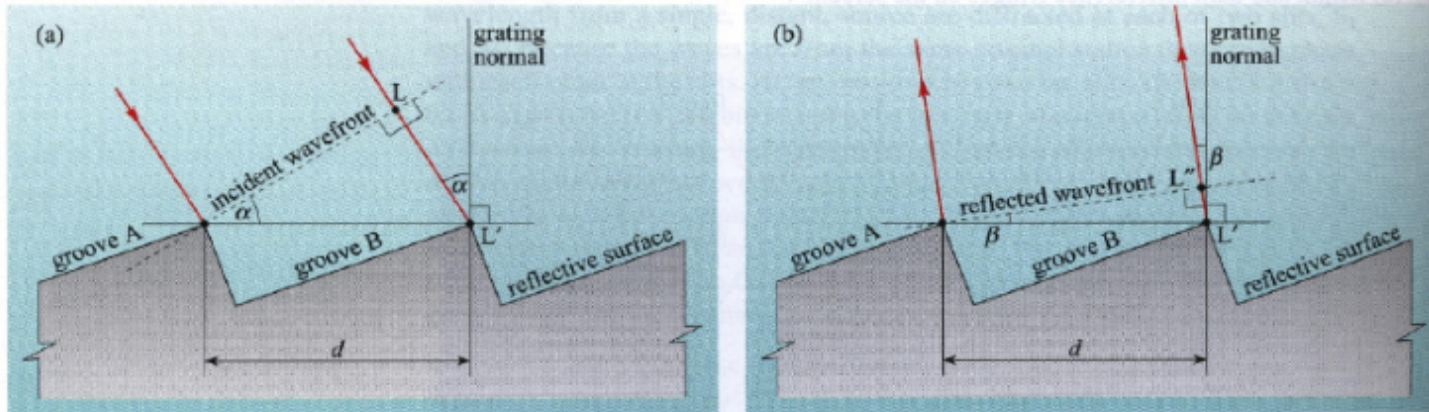


Figure 3.6 (a) For a wavefront incident on the grating at an angle α to the normal, the portion of the wavefront reaching groove B has to travel an extra distance $LL' = d \sin \alpha$ compared to the portion of the wavefront reaching groove A, where d is the distance between successive grooves. (b) Similarly, for light reflected from the grating at an angle β to the normal, the portion of the wavefront reflected from groove B has to travel an extra distance $L'L'' = d \sin \beta$. The total path difference from L to L'' is therefore $d(\sin \alpha + \sin \beta)$.

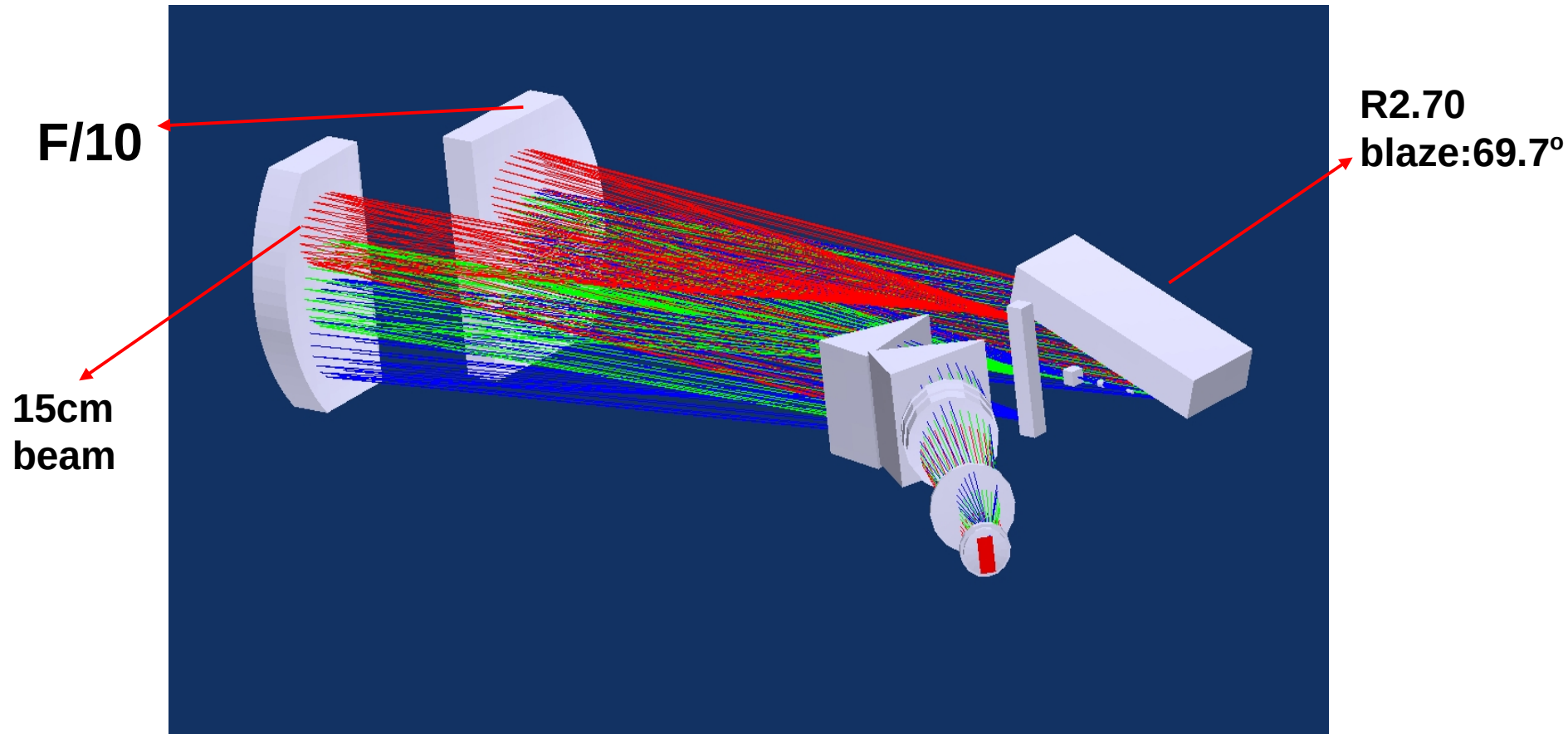
42

$$m \lambda = d (\sin \alpha + \sin \beta)$$

Dispersie door rooster

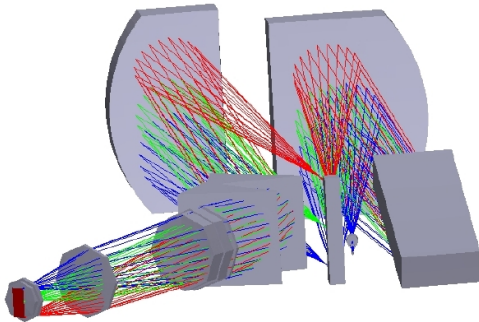
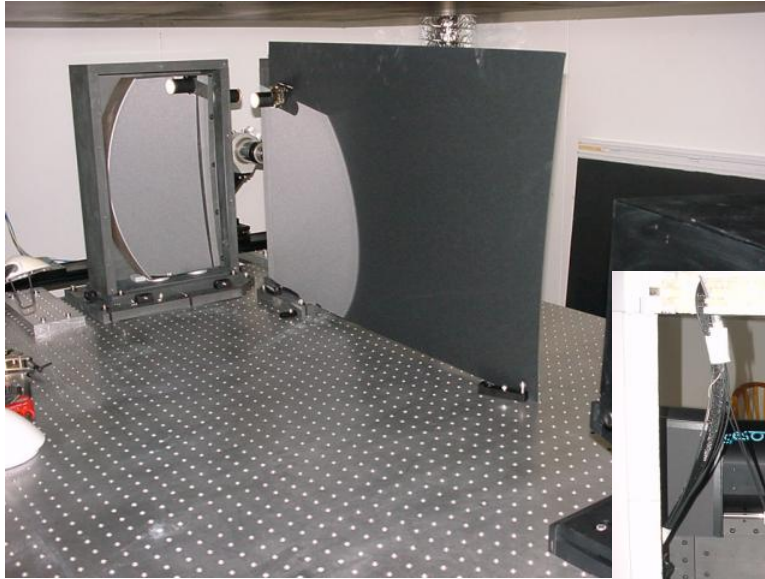
We werken in hoge spectrale ordes

Spectrale waarnemingen bij Mercator: HERMES spectrograaf



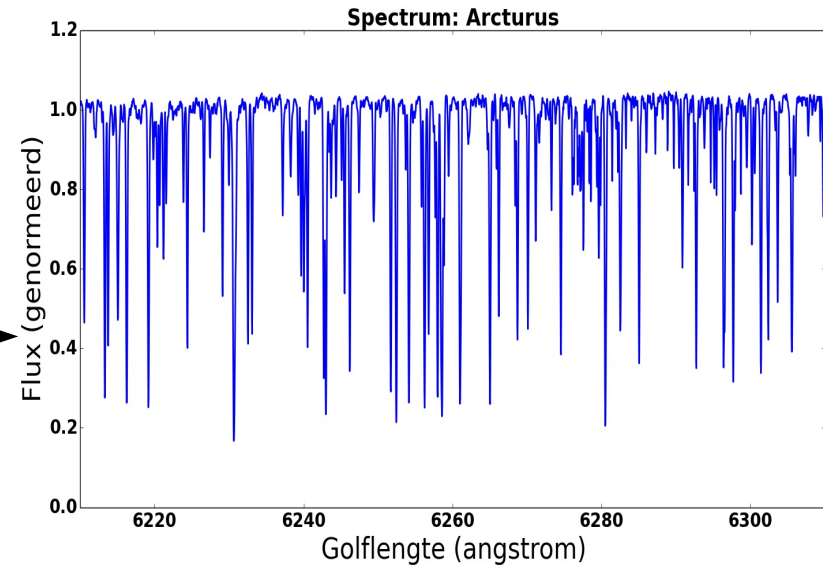
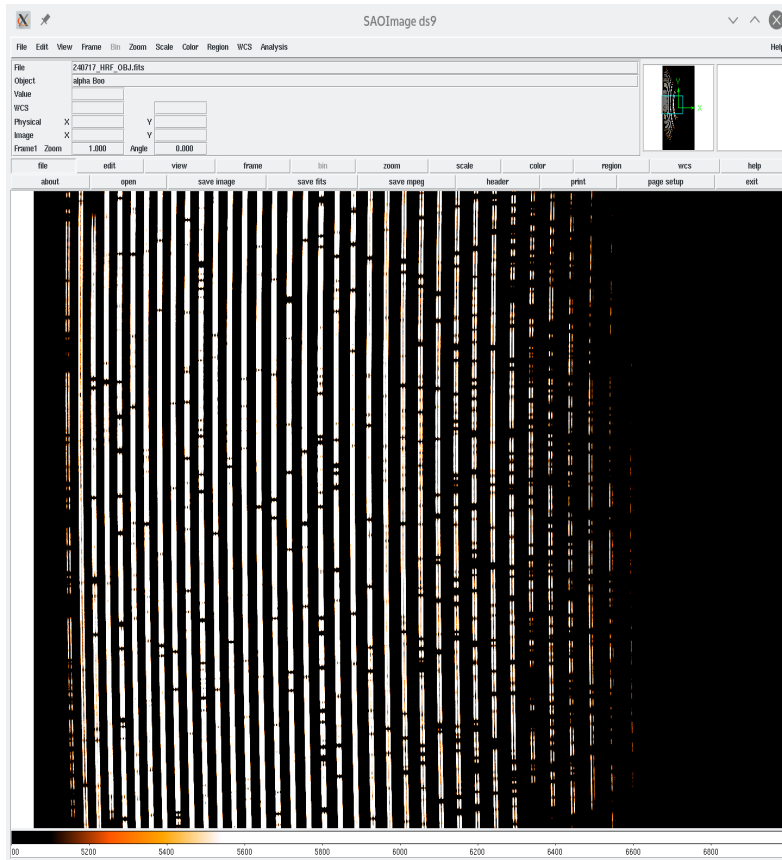
Diffratierooster: $m \lambda = \sigma (\sin \alpha + \sin \beta)$

De HERMES spectrograaf



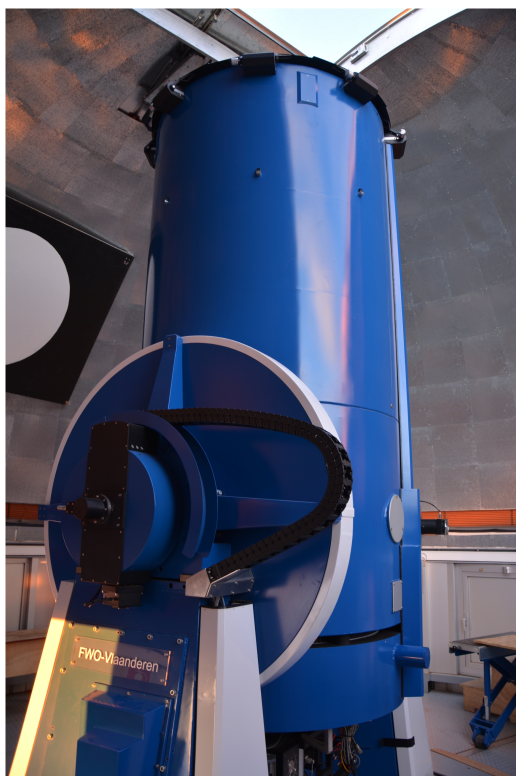
<http://www.mercator.iac.es/instruments/hermes/>

De HERMES spectrograaf

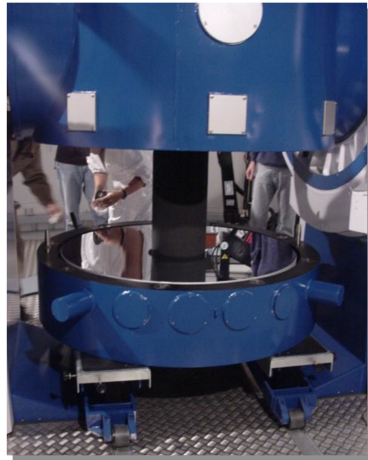
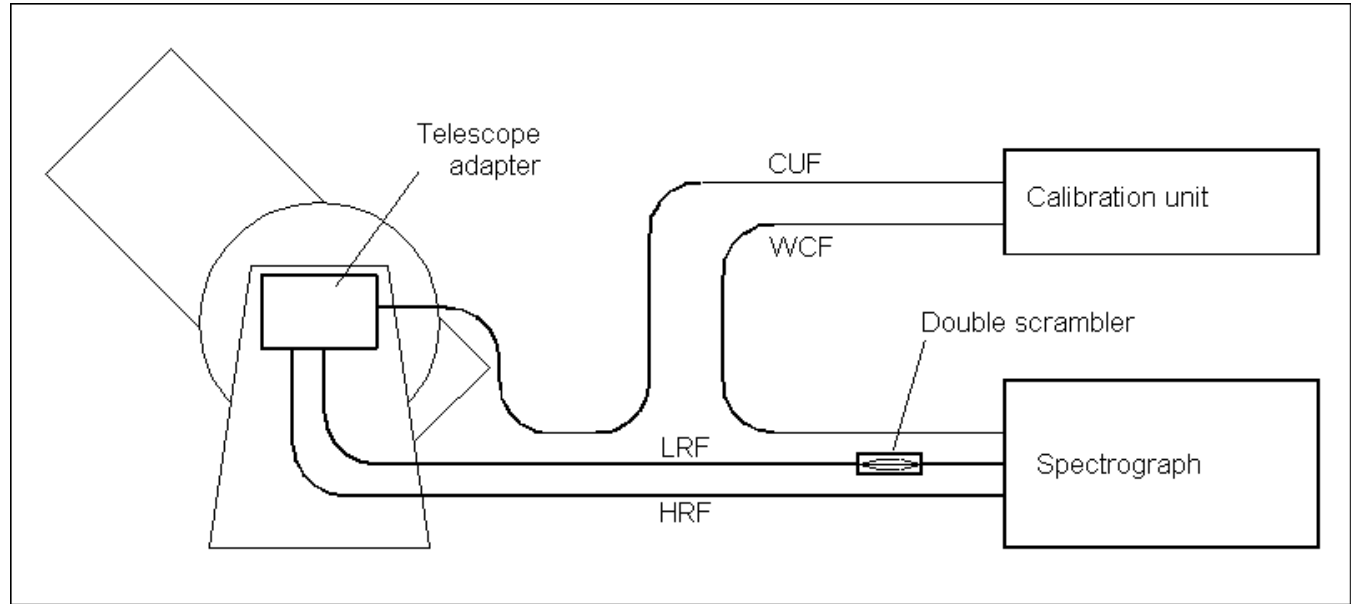


- calibratie
- data reductie
- specifieke software

Mercator+HERMES combinatie



1.2m Mercator

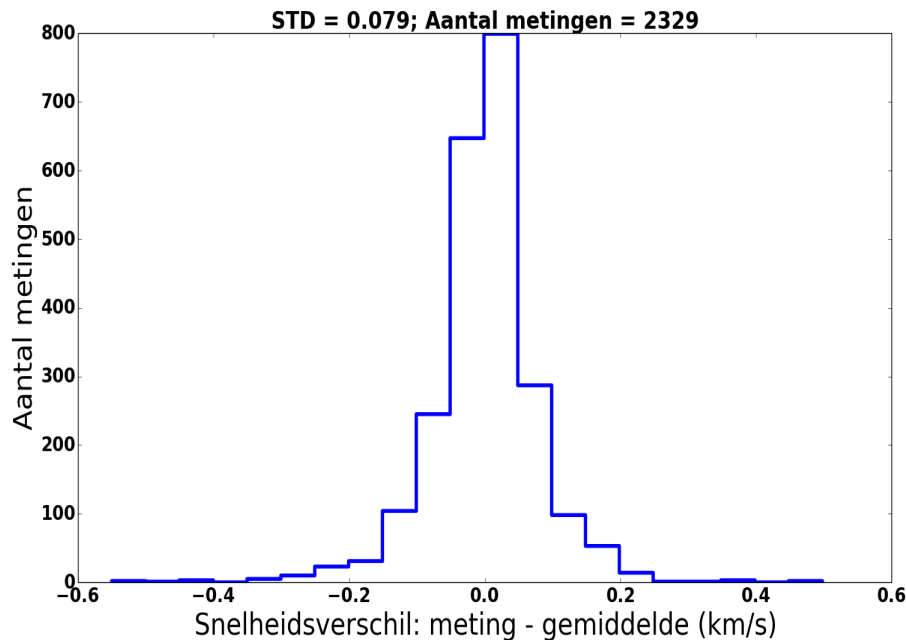


HERMES spectrograaf

High **E**fficiency and **R**esolution
Mercator **E**chelle **S**pectrograph

Kracht van hoge-resolutie spectrale waarnemingen

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_{\text{object}}}{c}$$



1 resolutie-element = 3.5 km/s

Vereisten voor nauwkeurige
snelheidsbepaling:

- gebruik veel spectraallijnen
- stabiel instrument is noodzakelijk
- HERMES wordt T gecontroleerd tot 0.01 graden

1 σ = 79 m/s voor 2329 metingen van
standaardsterren over 7 jaar gemeten

1 σ op 1 nacht en mits goed waarneemplan: 2-5 m/s.

Waarom een eigen telescoop?

Stellaire astrofysica !



- Astrofysica in het tijdsdomein
- Technologische ontwikkelingen
- Onderwijsprogramma



Tijdreeksen van spectra van hoge kwaliteit met voor elk object een specifieke sampling.

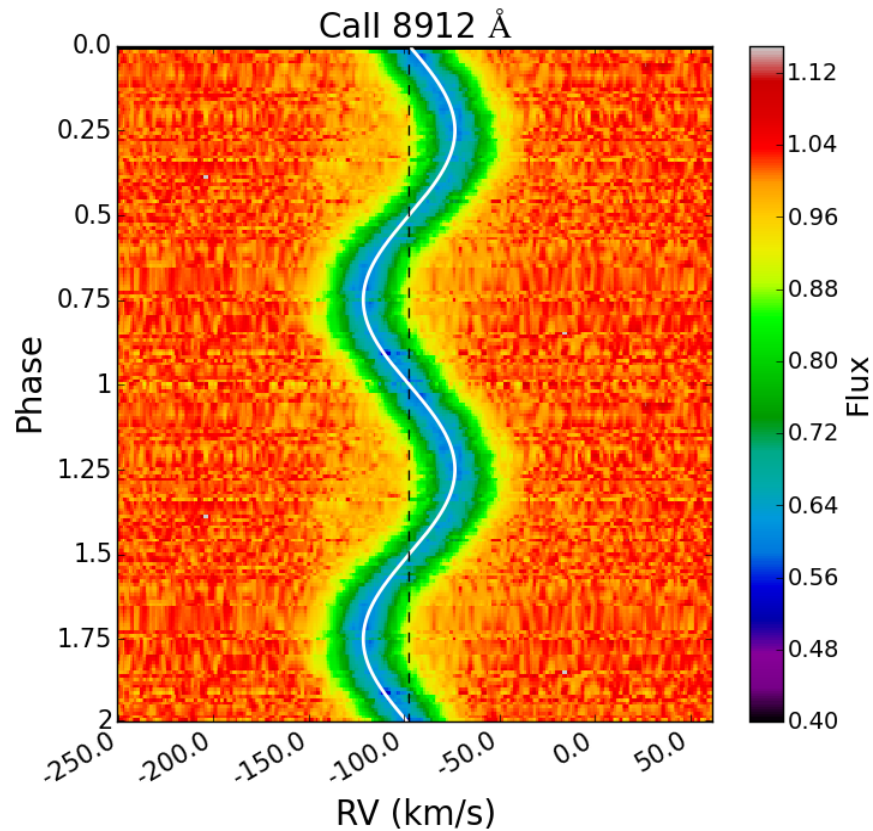
We volgen sommige objecten voor een decennium en meer!

Wetenschappelijke uitdagingen: sterren zijn fundamentele componenten in de cosmische evolutie.

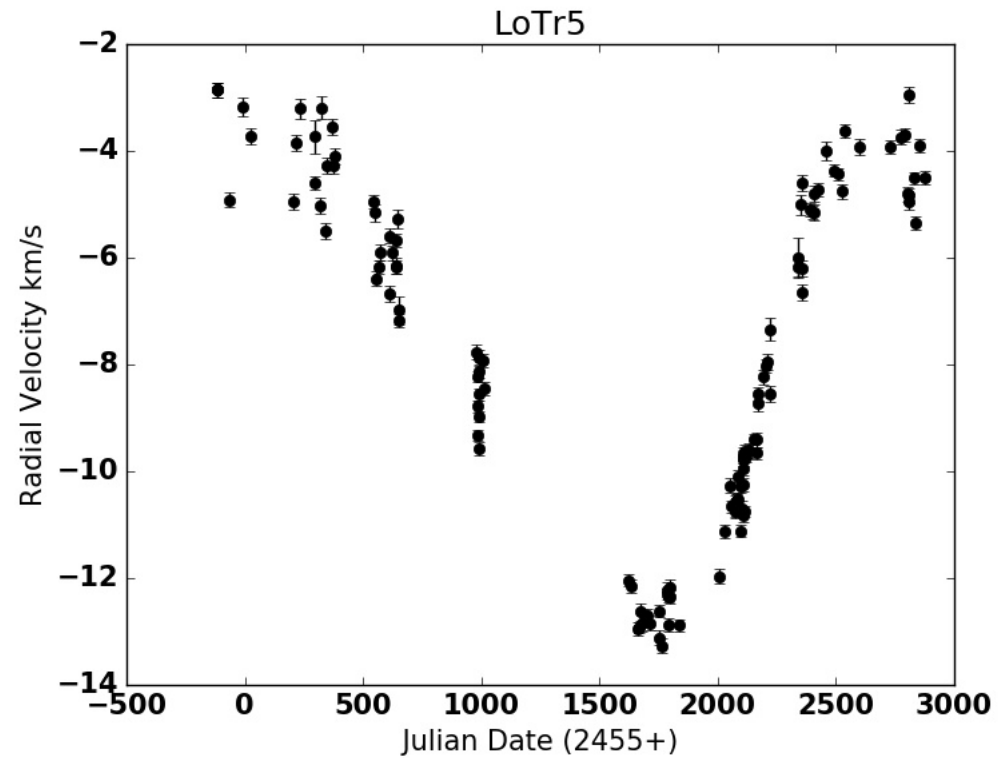
- Hoe vormen sterren zich en hoe evolueren ze? (interne structuur, massa verlies, impact metalliciteit, circumstellaire materie, draai-impulsmoment etc.)
- Binaire sterren vormen een meerderheid van de sterren maar hoe werken alle intercatieprocessen? (zwaartekrachtgolven, evolutie naar compacte objecten, specifieke nucleosynthese, supernova in binaire sterren, etc.)
- Stervorming en planeetvorming zijn innig verbonden, maar hoe
Hoe ontstaat de grote diversiteit aan exoplaneten? Hoe werkt de interactie tussen de sterren en hun planeet of planeetsystemen?
- Hoe bepaalt sterevolutie de structurele en chemische evolutie van melkwegstelsels?



Enkele voorbeelden

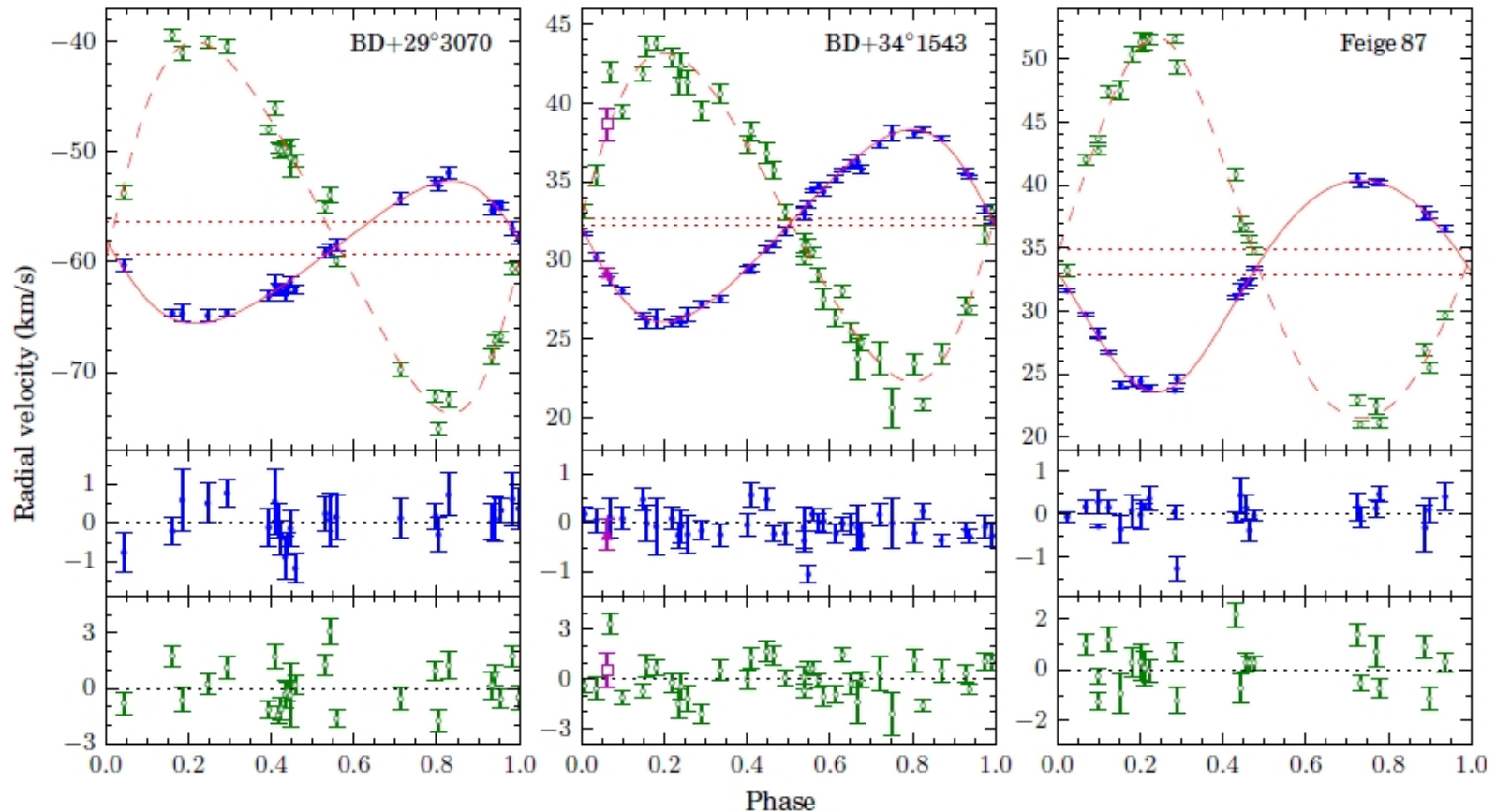


Binaire sterren



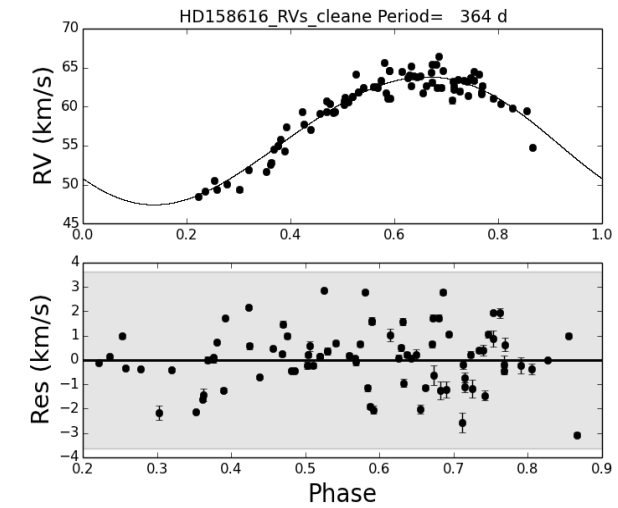
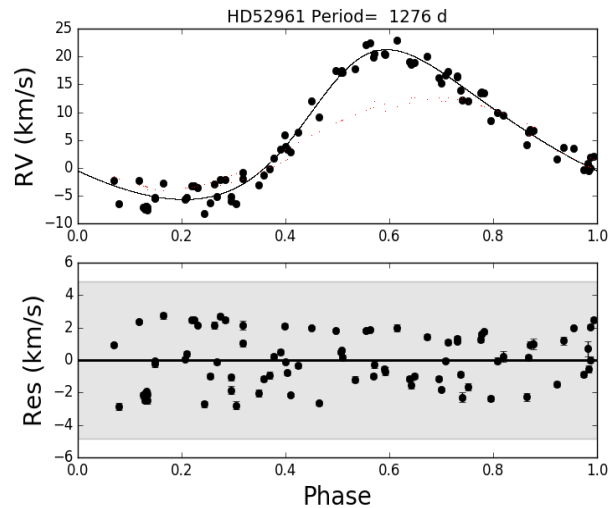
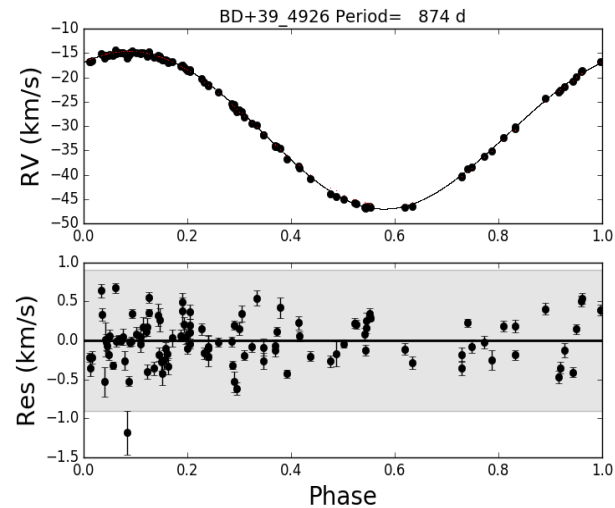
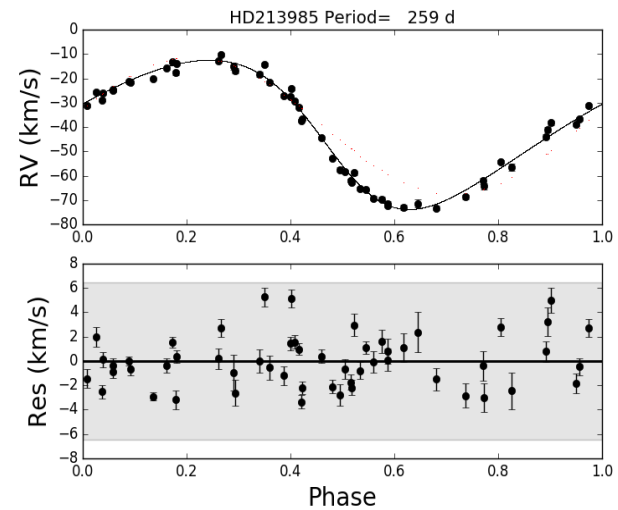
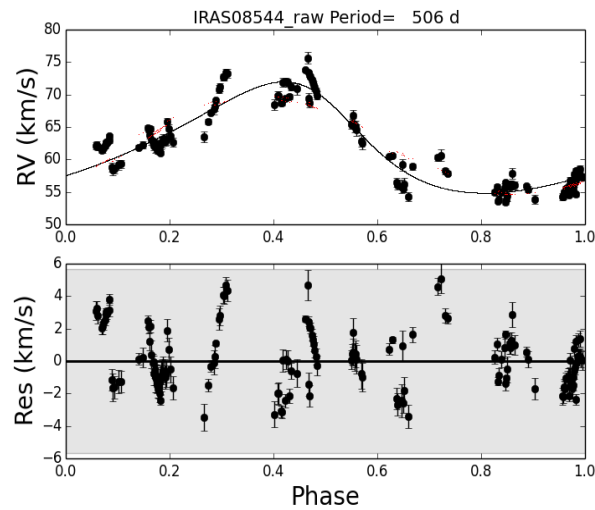
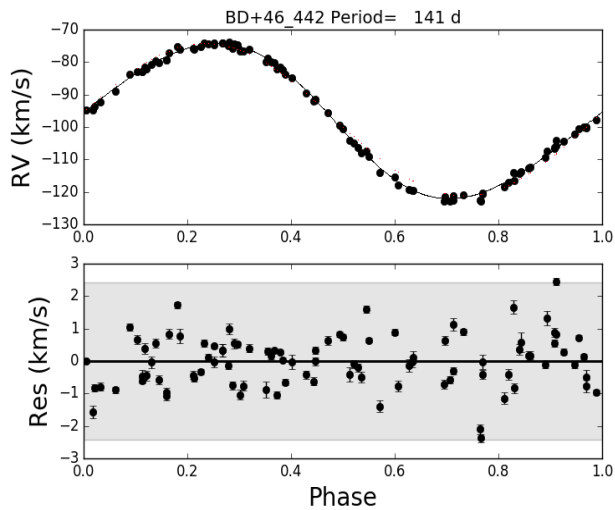
centrale ster PNe

Enkele voorbeelden



Spectroscopische dubbelsterren met een compacte begeleider
Verskil in gemiddelde snelheid is door gravitationele roodverschuiving

Systematisch onderzoek binaire sterren: bereik in P en e



Mercator: Operationeel model: waarneemruns of 11-12 nachten

Verschillende wetenschappelijke programmas die goedgekeurd werden via een "peer review process". Iedereen neemt waar voor iedereen.

Dat kan mits: Robuste controle (Telescope, Instruments)

Makkelijk in gebruik

Directe controle van de kwaliteit van de waarnemingen

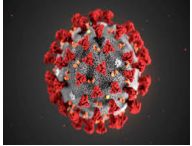
Optimalisatie van de monitoring programma's

Goede data reductie software

- Dus...: veel software ontwikkelingen
- Hands-on ervaring voor PhD studenten en post-docs
- Alle wetenschappelijke programma's komen in centrale databank
- Trouble shooting: nachtraport + snelle feedback (7/7)
- Wekelijks overleg met heel ondersteunende team
- Elke nacht wordt 80% van de tijd uit de db waargenomen
- 20% is voor eigen experimenten van de waarnemer



Operationeel model werkt prima maar dan kwam Covid.....:



Hoe tijdreeksen vervolgen ?

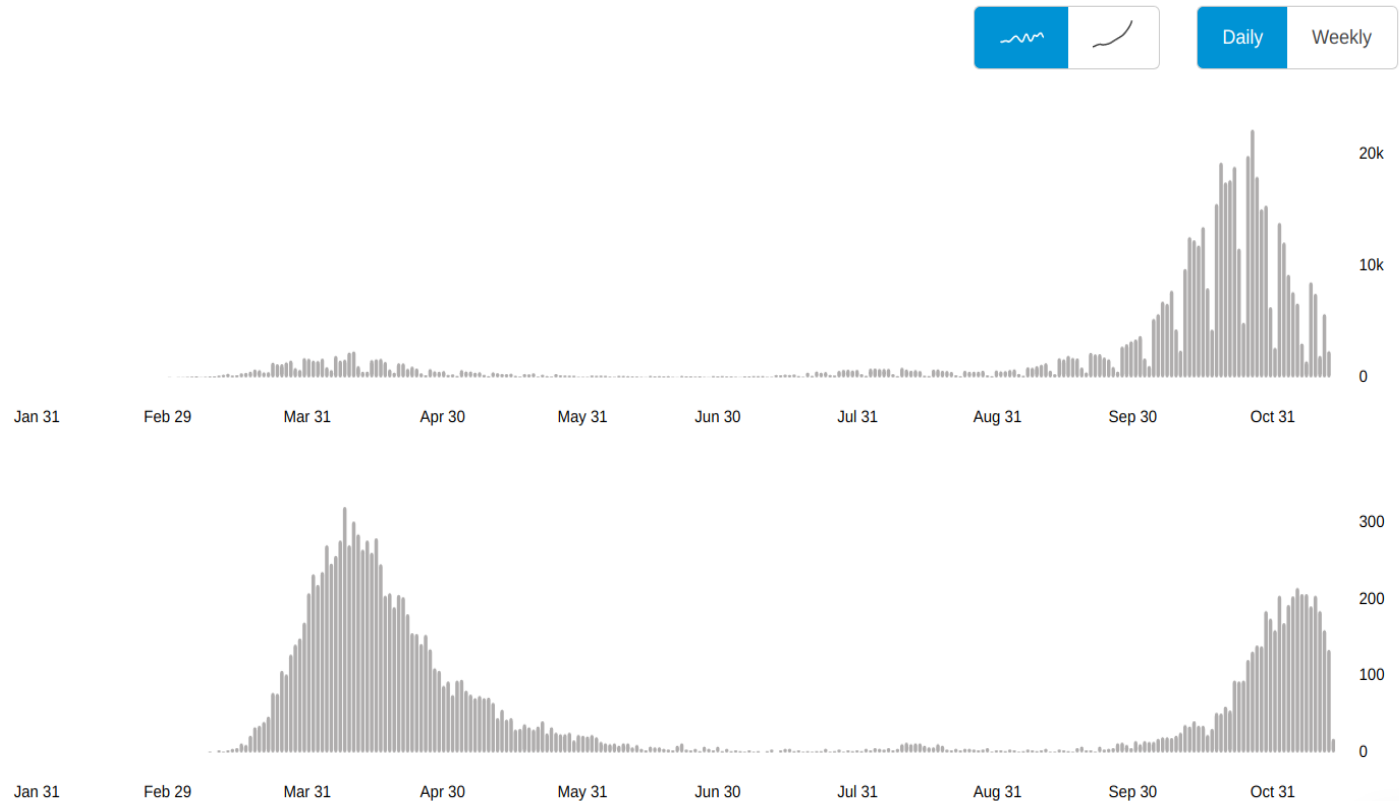
Belgium Situation

531,184

confirmed cases

14,303

deaths



Source: World Health Organization

Remote Observing....om onze tijdreeksen te redden

Als wij niet naar de telescoop kunnen, moeten we de telescoop tot bij ons brengen. We installeerden:

- VNC communicatie: Virtual Network Computing: we besturen de lokale computers te La Palma, maar dan vanuit Leuven
- we investeerden vorige jaren in een modern "Telescope Control System (TCS)" en dat wierp zijn vruchten af
- strikte veiligheidsprocedure d.m.v. ons weerstation: automatische sluiting van zodra het weer slecht wordt
- netwerk stabiliteit: 10min zonder communicatie → Mercator sluit automatisch
- simulatie (virtueel) van de controle omgeving van de telescoop, maar dan op de campus.
- de runs zijn nu 4-5 nachten i.p.v. 11-12
- flexiebele installatie helpt ook bij technische ontwikkelingen
- we kunnen nu onze studenten ook makkelijker laten waarnemen

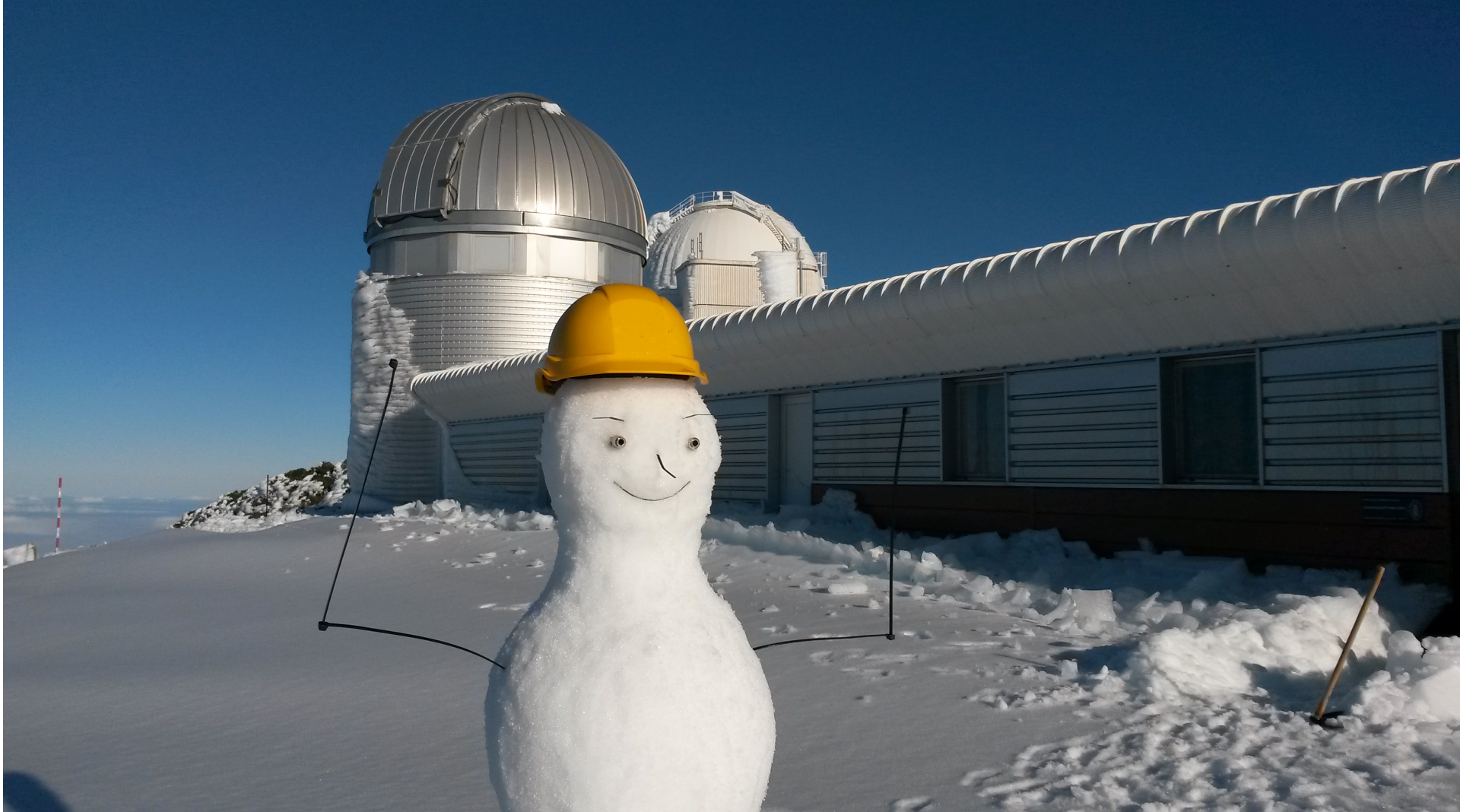


Waarnemen op afstand....

Is niet hetzelfde als waarnemen ter plekke maar....:

- we konden de tijdreeksen verder zetten
- we organiseerden een 'waarneemschool' voor onze studenten
- naast de wetenschappelijk exploitatie is Mercator ook belangrijk in ons onderwijskundig project voor master studenten, PhD studenten etc. We gaan Mercator voorlopig niet robotisch maken.
- we konden de waarnemingen snel herstarten en veel sneller dan grote internationale observatoria
- we zullen 'waarnemen vanop afstand' verder ontwikkelen maar zullen ook terug ter plekke gaan van zodra weer mogelijk





Zalige Kerst, gelukkig nieuwjaar en hou het gezond!