

De rotatiesnelheid van de planeet Saturnus

Hugo Van den Broeck

Om de rotatiesnelheid, gemeten aan de evenaar van de planeet Saturnus, te bepalen volstaat het om één spectrum van de planeet op te nemen. Er zijn echter wel wat voorwaarden. Het spectrum moet opgenomen worden in hoge resolutie. De spectroscop is een spleet spectroscop waarbij de spleet dient geplaatst te worden over het planeet schijfje en wel horizontaal, op de evenaar van de planeet. Gelukkig helpen de ringen van Saturnus om deze positionering op een uitvergroot oppervlak uit te voeren.

De spectroscop waarmee het spectrum opgenomen werd was de LHiRes III van de firma Shelyak voorzien van een rooster met 2400 lijnen / mm en met een resolving power $R = 17000$. De resolving power is een onbenoemd getal en wordt uitgedrukt als $\lambda / \Delta\lambda$ of de golflengte gedeeld door de kleinste verschilgolflengte waarbij nog kenmerken van het spectrum te onderscheiden zijn. De hoofdcamera, de zogenaamde “science “ camera was de ATIK 460EX monochrome CCD camera. Deze camera heeft een Sony sensor ICX694 met een array van 2749 bij 2199 pixels. De pixelgrootte is 4,54 bij 4,54 μm . Voor het volgen werd een CMOS ASI035MM (ook zwart/wit) camera van de firma ZWO gebruikt. De telescoop van dienst was een Celestron C11, een 28 cm diameter Schmidt-Cassegrain kijker, die met zijn f/10 verhouding de planeten laat waarnemen als behoorlijke schijfjes.

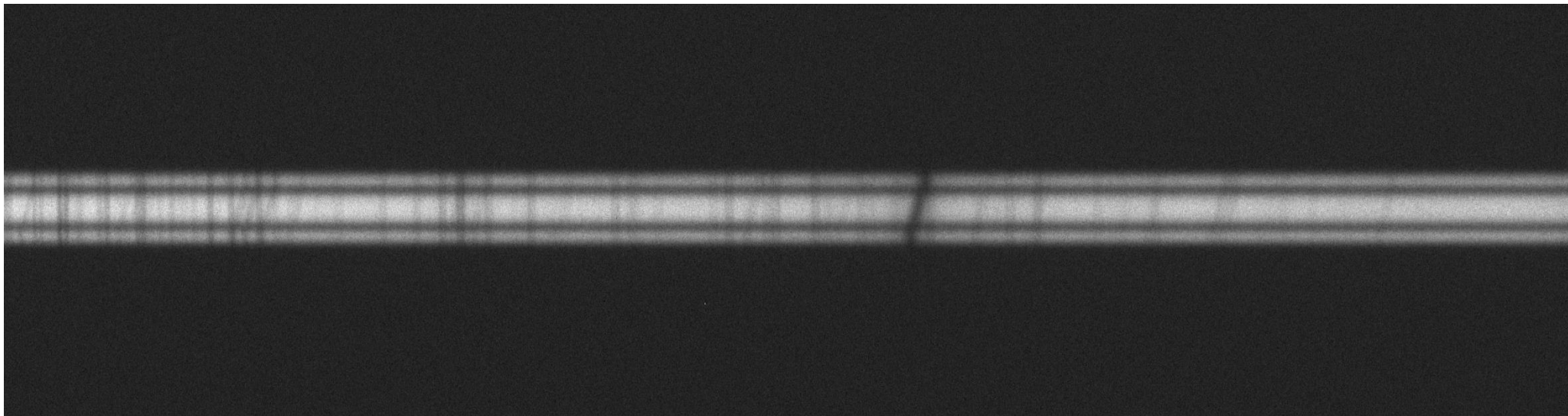
De waarneming gebeurde op de avond van 16 juli, een avond waarop ook een gedeeltelijke maansverduistering zich voltrok. Saturnus bereikte zijn hoogste stand in het zuiden (net geen 17° boven de horizon) bij een meridiaan doorgang om 1uu 20 uur plaatselijke tijd. (meridiaan doorgang dus op 17 juli)

Eerst werd de slit van de spectroscop evenwijdig en daarna op de evenaar van Saturnus geplaatst door middel van de guiding camera en de Vixen SkySensor 2000 sturing van de montering die telescoop, spectroscop en camera's draagt. Figuur 1 werd gemaakt met de volgcamera met slechts een opnameduur van 0,01 seconde! Bemerkt dat de (zwarte) slit horizontaal doorloopt over gans het beeldveld.



Figuur 1. Beeld van Saturnus door de volgcamera. De slit van de spectroscop loopt door de evenaar van de planeet.

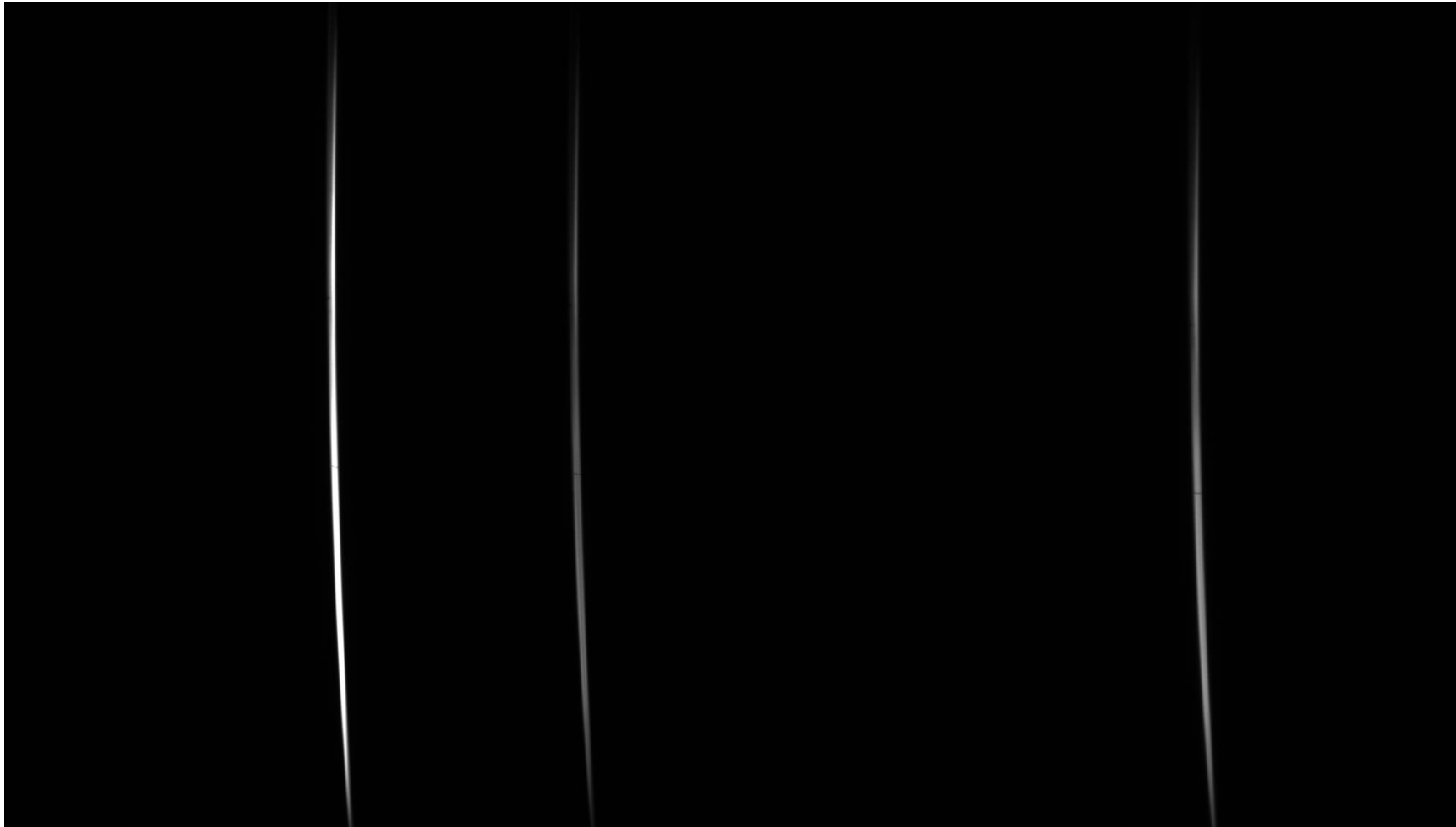
Vervolgens kwam de opname van het spectrum zelf aan de beurt met een nonius instelling (micrometerschroef) van de spectroscop op 1990, wat overeenkomt met een golflengte waarin ook H-alpha gelegen is ($H\alpha = 6562,85 \text{ \AA}$ golflengte in rust) . De opnameduur met de ATIK 460EX Mono bedroeg 60 seconden. Een bewerking van deze opname door het aftrekken van een master-dark signaal dat samengesteld werd uit een aantal opnamen met afgedekte telescoop en ook telkens met een duur van 60 seconden is afgebeeld in figuur 2.



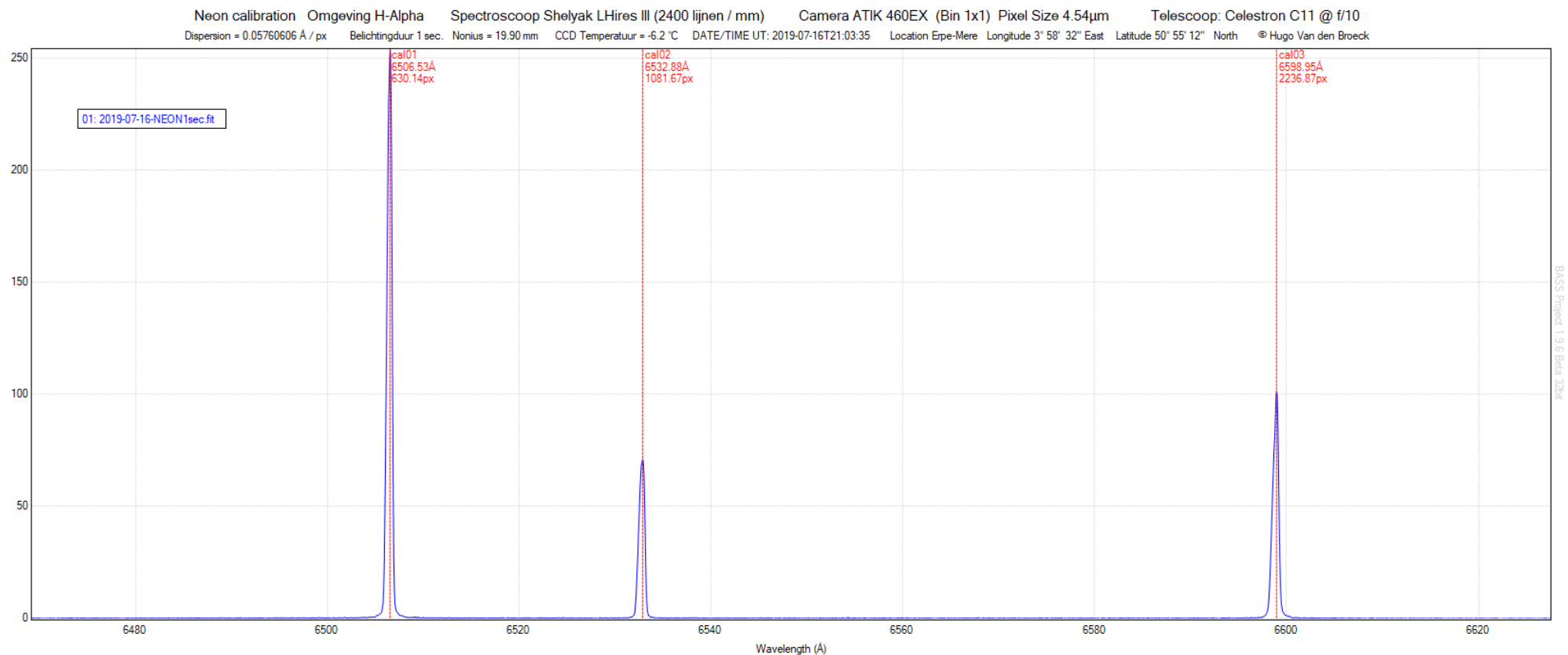
Figuur 2. Het spectrum van Saturnus rond de H- α absorptie lijn. Merk op dat de ringen van de planeet 2 spectra opleveren, parallel, één aan weers zijden van het spectrum van Saturnus zelf.

Bemerk de donkere schuin-vertikale absorptielijn. Dit is de kenmerkende waterstof H α lijn. Bemerk ook dat er in dit spectrum nog andere donkere absorptie lijnen te zien zijn. Er zijn schuine lijnen maar ook vertikaal rechte lijnen. Het spectrum is in feite het spectrum van het zonlicht maar dan weerkaatst door de planeet Saturnus. De schuine lijnen zijn de absorptielijnen van het zonlicht dat vertrekt van de fotosfeer van de zon, maar door elementen, aanwezig in de chromosfeer van de zon, worden geabsorbeerd. De rechte lijnen zijn absorptie lijnen die op het einde van de rit door moleculen (voornamelijk O₂ en H₂O), aanwezig in de aardse atmosfeer, worden geabsorbeerd. Het feit dat er schuine lijnen aanwezig zijn duid op een snelheidsverschil, veroorzaakt door de draaiing van Saturnus. Het bovenste gedeelte van de schuine lijn(en) is naar rechts verschoven, naar het “rode” deel van het spectrum (Redshift). Dit is de kant van Saturnus die wegdraait vanuit ons standpunt. Het onderste gedeelte van de schuine lijnen is blauw verschoven (Blueshift) en is veroorzaakt door de draaiing naar ons toe. Dit wetende kunnen wij nu trachten het verschil in pixels te bepalen tussen onder en boven van één bepaalde absorptielijn. Wij nemen hiervoor de H α lijn. Om de berekening te maken volstaat het niet het pixelverschil te kennen maar moeten wij ook weten met hoeveel golflengte eenheden een pixel overeenkomt. Wij maken dus een kleine zijsporg en berekenen eerst de dispersie, het aantal golflengte eenheden per pixel, hier uitgedrukt in Ångström per pixel (Å/px).

Hiertoe nemen wij met de LHiRes III een calibratiespectrum van een ingebouwde Neon lamp (figuur 3). Aan de hand van de gekende golflengten van de Neon emissielijntjes kunnen wij dit spectrum iken in golflengte eenheden (Å) en ook het aantal Å / px bekomen (figuur 4). Met het gratis software reductie programma, BaSS-Project is het een koud kunstje om te weten te komen dat de spectroscop/camera combinatie een dispersie heeft van 0,05760606 Ångström per pixel.



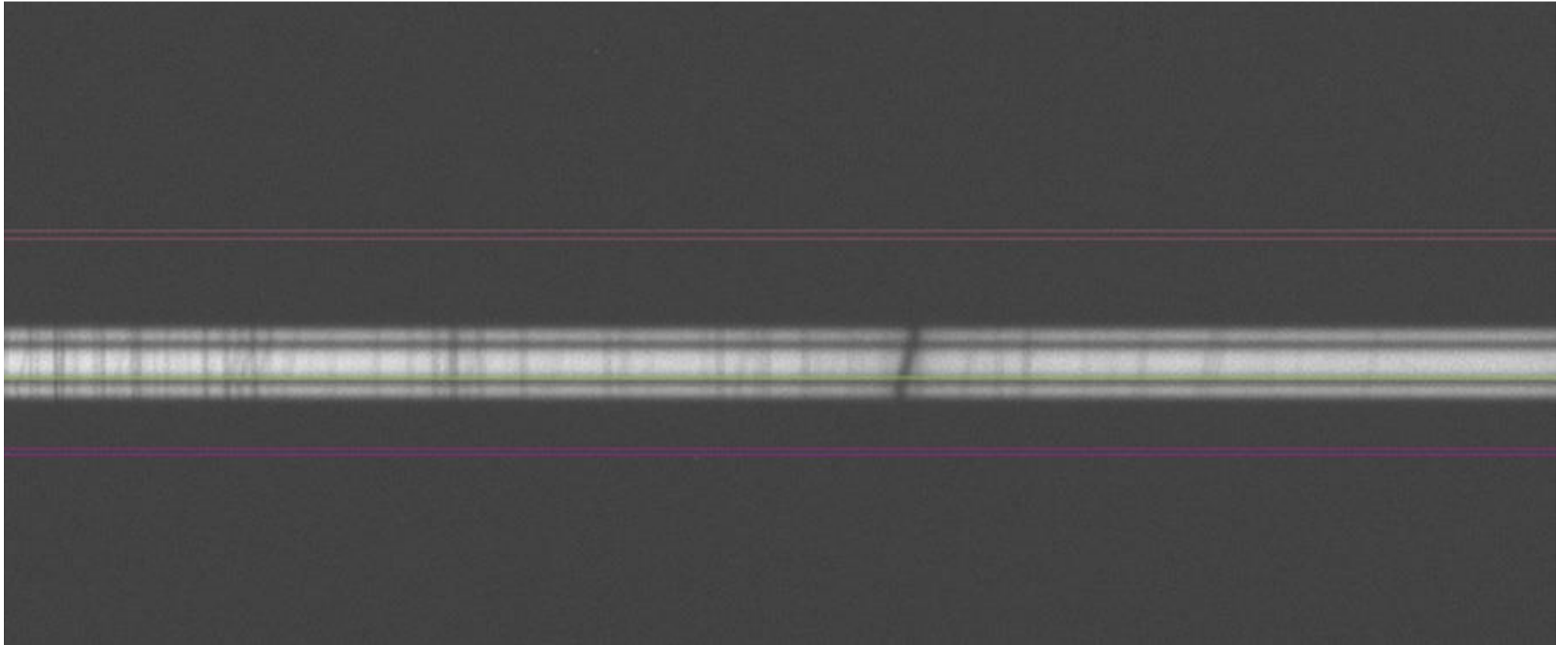
Figuur 3. Het ruwe calibratiespectrum met 3 gekende neon emissie lijnen.



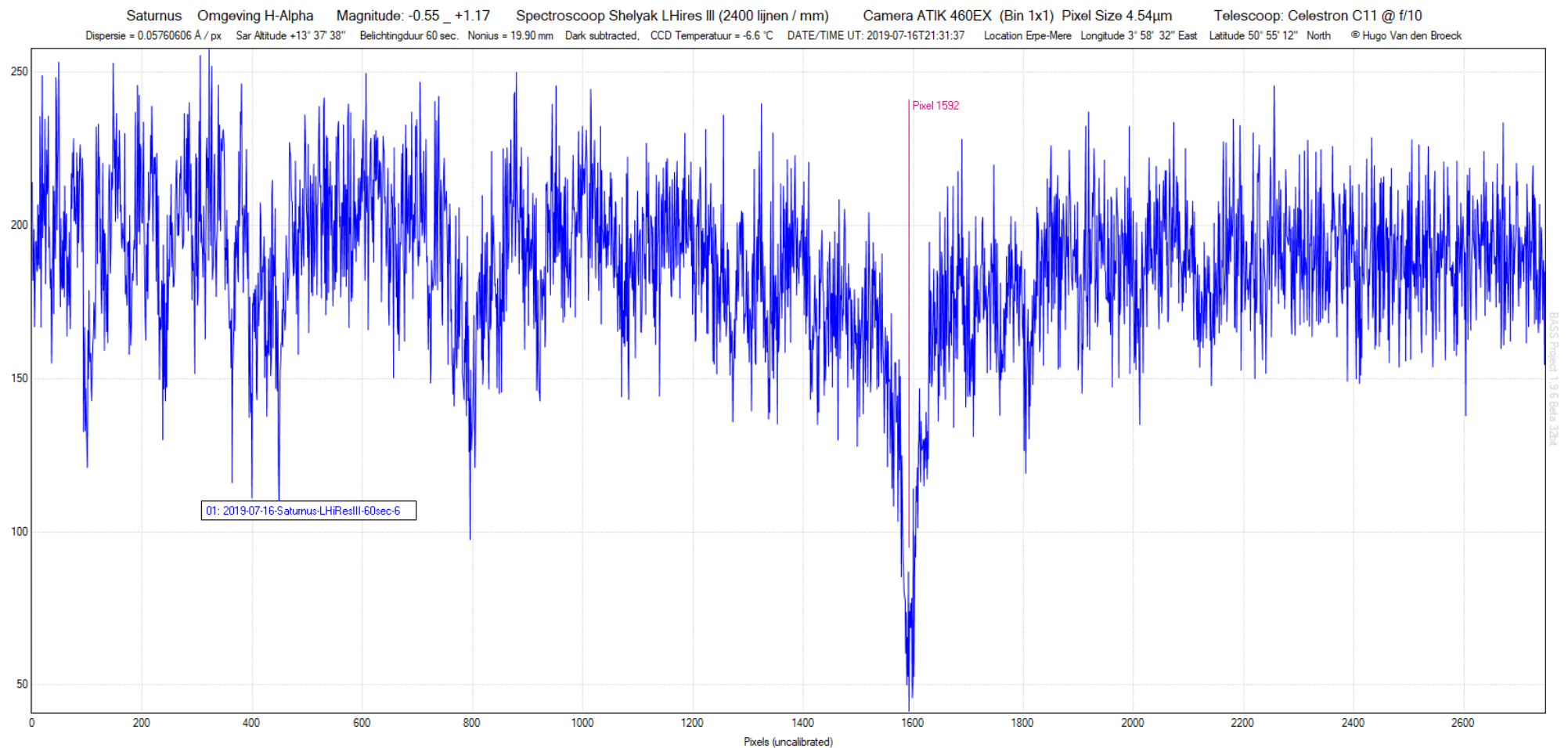
Figuur 4. De grafiek van het gecalibreerde spectrum met de 3 emissie lijnen is hier bedoeld om de dispersie te meten. Dispersie = 0,05760606 Ångstrom / pixel.

Terug nu naar het spectrum van de planeet zelf.

Om de pixel te bepalen op de horizontale as van de CCD sensor, waarbij de snijding van de schuine H α absorptie lijn met de onderste rand van het spectrum nog net een H α signaal laat zien gaan wij in BaSS-Project een gebied afbakenen tussen 2 dicht bij elkaar liggende (groene) lijnen. Dit is de “active binning region” (Figuur 5). Om zo veel mogelijk ruis weg te werken, worden er boven en onder het spectrum ook nog 2 regio's geselecteerd (tussen paarse lijnen). Dit zijn de zogenaamde “subtraction regions”. Het resultaat is een grafiek met vrij veel ruis (Figuur 6), omdat wij ons op de rand van Saturnus begeven met enerzijds signaal (weerkatst licht) en anderzijds lege ruimte. Het H α absorptie dal is op de grafiek echter duidelijk te onderscheiden van de ruis en de pixel waarde van de X-as laat zich aflezen in BaSS-Project als 1592. Het is daarenboven nog mogelijk om in BaSS-Project de sub-pixelwaarde af te lezen. Door interpolatie is deze software in staat om een pixelwaarde te bekomen tot 1 a 2 cijfers na de comma. Wegens de ruis in dit deel van het spectrum houden wij het maar bij een geheel getal.

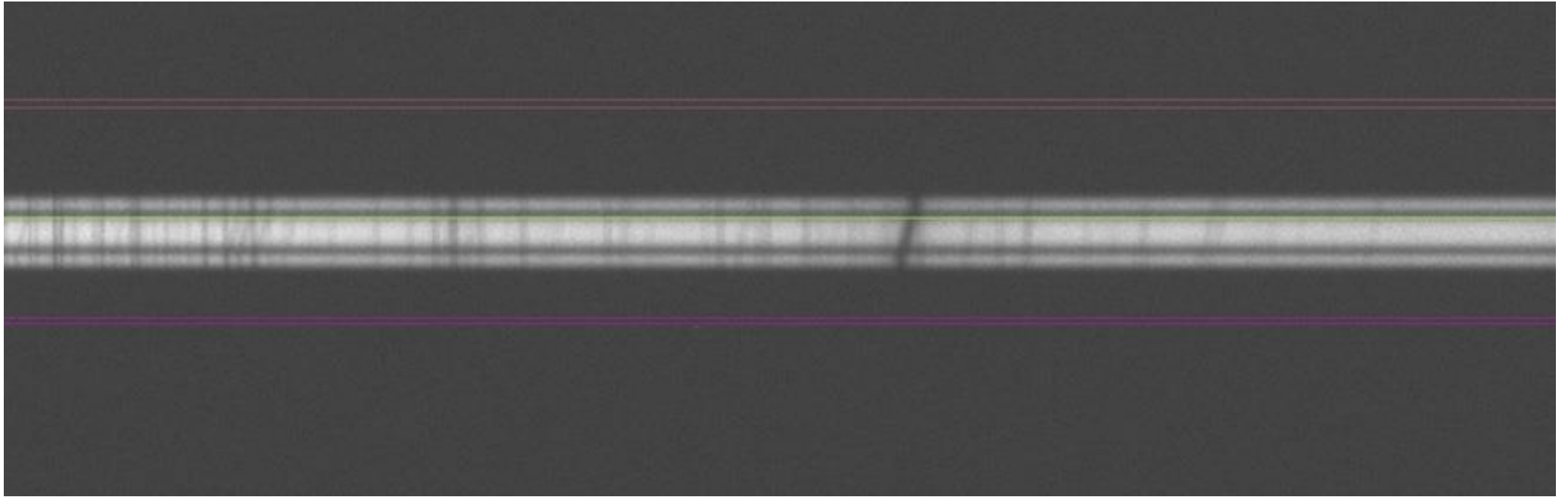


Figuur 5. De active binning region onderaan het spectrum is aangeduid door 2 groene lijnen.

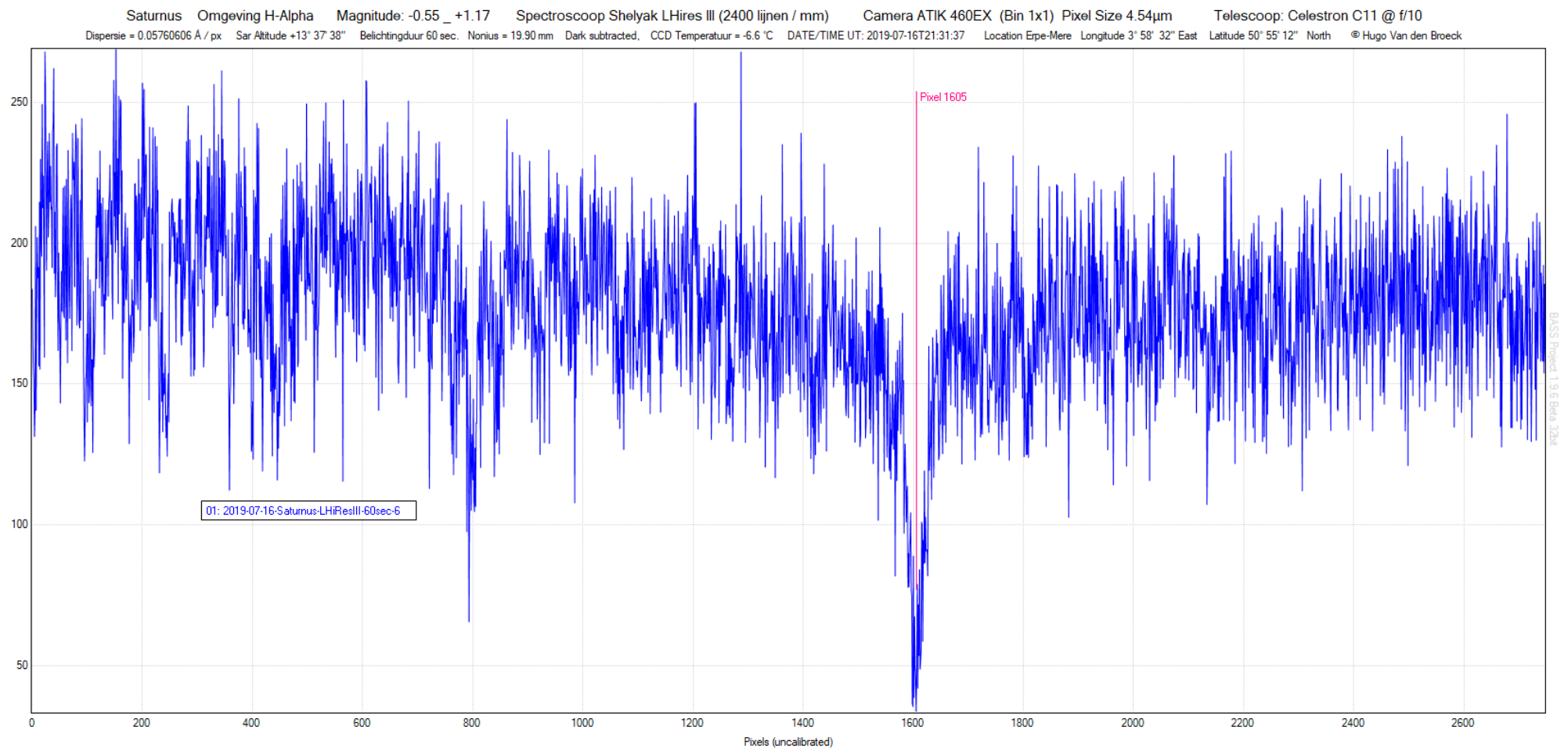


Figuur 6. In de active binning region met veel ruis is de waterstof Ha absorptie lijn nog duidelijk te onderscheiden. De X-as pixelwaarde (1592) wordt gemeten.

Dezelfde pixelberekening wordt ook gemaakt voor een active binning region aan de bovenkant van het spectrum (Figuur 7). Hier meten wij een pixelwaarde op de X-as van de sensor van de CCD camera van 1605 (Figuur 8).



Figuur 7. De active binning region bovenaan het spectrum is aangeduid door 2 groene lijnen.



Figuur 8. In de active binning region met veel ruis is de waterstof H α absorptie lijn nog duidelijk te onderscheiden. De X-as pixelwaarde (1605) wordt gemeten.

Het is het verschil tussen beide pixelwaarden $1605 - 1592 = 13$ pixels dat ons nu vooral interesseert.

Passen wij dit toe op de formule van de omtreksnelheid van Saturnus:

$$v = \frac{1}{4} * c * \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

Hierin is :

v = de rotatiesnelheid van Saturnus. (het gevraagde)

$\frac{1}{4}$ Splits zich in $2 \times \frac{1}{2}$

$\frac{1}{2}$ omdat de rotatiesnelheid $2 \times$ wordt gemeten: naar ons toe en van ons weg.

$\frac{1}{2}$ omdat wij te maken hebben met invallend licht van de zon op Saturnus EN de weerkaatsing ervan naar ons toe met hierbij het Doppler –Fizeau effect.

C = de lichtsnelheid $299792,458 \text{ km / sec}$

$\Delta\lambda$ is de verschilgolflengte tussen beide meetpunten: $13 \text{ pixels} \times \text{de dispersie}$ of $13 \text{ pixels} \times 0,05760606 \text{ \AA / pixel} = 0,74887878 \text{ \AA}$

λ is de rust golflengte waarbij wordt gemeten. Hier $H\alpha = 6562,85 \text{ \AA}$

$v = \frac{1}{4} * 299792,458 \text{ km / sec} * 0,74887878 \text{ \AA} / 6562,85 \text{ \AA} = \mathbf{8,552 \text{ km / sec}}$

Deze waarde is niet exact de “Equatorial Rotation Velocity” van $9,87 \text{ km / sec}$ zoals te vinden in de Engelstalige Wikipedia.

Wij moeten nog compenseren!

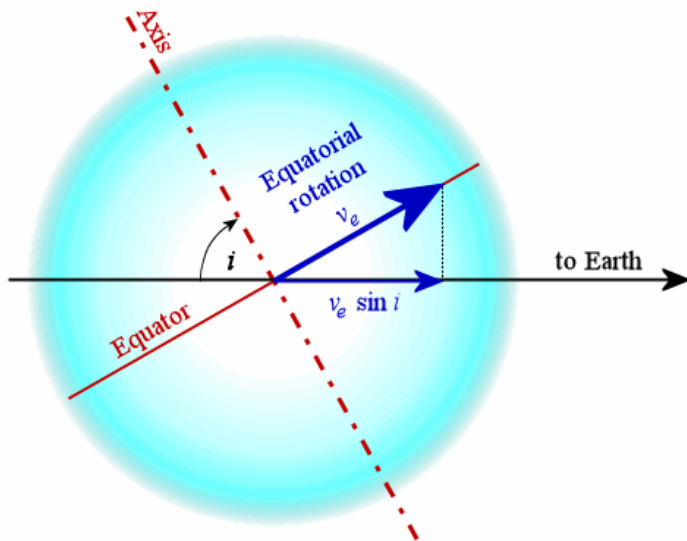
Saturnus wordt momenteel gezien vanaf de aarde , gekanteld over een hoek van $24,5^\circ$. Wij moeten hier dus rekening mee houden. In 2009 was deze kanteling nagenoeg 0° zodat er niet behoefde gecompenseerd te worden. We zagen toen de ringen als een vlijmscherpe lijn. Nu zien wij de ringen als een ellips die , naarmate de jaren vorderen, steeds meer langwerpig toont, tot er rond 2025 terug een lijn zal vormen door de evenaar van de planeet.

De reële snelheid is dus $v(\text{reël}) = v(\text{gemeten}) / \cos 24,5^\circ$

$v(\text{reël}) = 8,552 \text{ (km / sec)} / 0,9099 = \mathbf{9,398 \text{ km / sec}}$

Hierbij een verduidelijking met een figuur uit Wikipedia (Figuur 9). In de sterrenkunde wordt de gemeten snelheid uitgedrukt als $v \sin i$. Hierin is i de inclinatiehoek, de hoek gevormd door de draaiingsas van de ster en de lijn ster-aarde. Bij een ster is deze hoek meestal niet gekend zodat de snelheid dan uitgedrukt wordt als de gemeten snelheid of $v \sin i$.

In ons voorbeeld van Saturnus is de hoek wel gekend. De hoek wordt echter uitgedrukt als het complement van de hoek i , vandaar dat wij met de cosinus werken ipv met de sinus.



Figuur 9. Bron: Wikipedia

Wij weten nu dat één volledige omwenteling van Saturnus om zijn as 10h 33' 38" duurt. Het is dus mogelijk om de diameter van Saturnus te bepalen.

$$D = v \cdot P / \pi = 9,398 \text{ km / sec} \cdot 10,56 \cdot 3600 \text{ sec} / 3.1415 = 113\,727 \text{ km}$$

Zoals te verwachten komt deze diameter (aan de evenaar) ongeveer overeen met de straal van 60 268 km die aangegeven wordt op de Engelstalige Wikipedia.

Wij kunnen ook afleiden dat de ringen van Saturnus draaien. Dit is reeds goed te zien op de opname van het spectrum. Maar omdat de ringen zich niet als één geheel bewegen is de afleiding van de exacte snelheid uit deze meetgegevens haast onbegonnen werk. De brokstukken waaruit de ringen gevormd zijn bewegen zich met een tragere snelheid naarmate ze verder van de planeet verwijderd zijn. Dichter bij de planeet is de rotatiesnelheid het grootst.