

Oppgave 1D.6: Analyse av stjerne

Kandidatnummer: 15851

Universitetet i Oslo*

(Dated: 21. oktober 2019)

I denne rapporten bruker vi ti datasett hentet fra [4], til å beskrive bevegelsen til en stjerne på en solmasse, og legemet som går i bane rundt stjernen. Datasettene inneholder to kolonner, der kolonne en inneholder bølgelengden rundt absorpsjons spektrallinjen $H\alpha$, og kolonne to er fluksen vi observerer for bølgelengdene. Vi plotter fluksen som funksjon av bølgelengde, og utifra dette bruker vi doppler effekten til å regne på hastigheten til stjernen. Siden det er vanskelig å lese av plottene, bruker vi minste kvadraters metode, til å finne en analytisk modell for alle plottene, og bruker dette til å plotte den radielle hastigheten til stjernen som funksjon av tid. Til slutt bruker vi hastighetsplottet til stjernen, og finner ut at minst mulig masse til legemet som er i bane rundt stjernen, er ti Jupitermasser, altså grenseland for massen til brune dverger.

I. INTRODUKSJON

I denne rapporten bruker vi absorpsjonsspekteret fra en stjerne på en solmasse, tatt over 10 dager, og bruker dette til å beskrive bevegelsen til stjernen. Hvis vi får en god situasjonsforståelse av galaksen vår, kan vi bruke det til å forutse hvordan ting kommer til å se ut i fremtiden. For å få denne situasjonsforståelsen er vi nødt til å kartlegge universet, og vite hvordan ting beveger seg i forhold til hverandre. Det er nettopp dette vi gjør i denne rapporten. Vi bruker data forskere har funnet, til å beskrive bevegelsen til en stjerne, og samtidig prøve å si noe om det rundt stjernen.

Som sagt har vi 10 datasett fra [4], som inneholder observert fluks, for bølgelengder rundt $\lambda_0 = 656.3\text{nm}$, altså absorpsjons spektrallinjen $H\alpha$, der navnet på filen inneholder dagen observasjonen ble gjort. På grunn av doppler effekt kan vi observere at spektrallinjene varierer fra dag til dag, og hvis dette er tilfellet, prøve å beskrive bevegelsen til stjernen ut i fra dette. Avhengig av hva vi observerer, kan vi også forsøke å si noe om hva som forårsaker disse variasjonene, og evt. massen til objektet som gir opphav til variasjonen.

På grunn av støyete plott kan det være vanskelig å lese av plottene. Siden det eksisterer et analytisk uttrykk for hva vi observerer, bruker vi minste kvadraters metode til å finne den analytiske modellen som passer best. Vi forsøker å automatisere denne prosessen, slik at vi minimaliserer bruken av øyemål. Etter vi har modellen som passer best, kan vi bruke de nye verdiene, til å beskrive bevegelsen til stjernen enda mer nøyaktig.

II. METODE

Datasettene fra [4] inneholder ti dokumenter med data fra en stjerne, der filnavnet sier hvilken dag observasjonen ble gjort. Dokumentene inneholder to kolonner, der den første kolonnen inneholder bølgelengden vi gjør målinger

på, målt i nanometer. Den andre kolonnen inneholder relativ fluks, altså fluksen vi vanligvis observerer (fluks uten absorpsjonslinje) er satt til 1, og all endring er i forhold til den vanlige fluksen, det betyr at fluks på 0.5 er 50% av den normale fluksen. Hvis vi da plotter bølgelengde langs x-aksen og fluks langs y-aksen, får vi absorpsjonsspekteret til stjernen. Der absorpsjonsspekteret er observert fluks, for de bølgelengdene vi gjør målinger på.

Målingene er gjort rundt absorpsjons spektrallinjen $H\alpha$, som tilsvarer bølgelengden $\lambda_0 = 656.3\text{nm}$. Absorpsjons spektrallinjen $H\alpha$ er spektrallinjen som oppstår når lys passerer gjennom statisk hydrogengass, dette er fordi hydrogen blir eksitert (elektron går til et høyere energinivå), når lys med bølgelengde lik λ_0 treffer det, og dette vil vi da observerer som en nedgang i fluks, som vi kaller en absorpsjons linje. Grunnen til at vi ser på denne bølgelengden, er fordi det er hydrogengass i atmosfæren til mange stjerner.

Atmosfæren til stjerner vil ikke bestå av statisk hydrogengass, den høye temperatur gjør at partiklene i atmosfæren vil ha hastighet i forskjellige retninger. Dette gjør at all hydrogengassen ikke vil absorbere den samme bølgelengden λ_0 , på grunn av doppler effekten. Hvis en partikkel er på vei mot lyset, vil partikkelen observere at lyset har lavere bølgelengde enn det stjernen vil observere, og derfor absorbere et foton med større bølgelengde enn λ_0 , sett fra stjernen. En partikkel som beveger seg vekk fra et foton vil da observere at fotonet har større bølgelengde, og derfor absorbere et foton med lavere bølgelengde enn λ_0 , sett fra stjernen. Dette gjør at vi ikke bare vil observere en nedgang i fluks for bølgelengde lik λ_0 , men også bølgelengder rundt. Vi vet fra [3] at hastigheten til partiklene er normalfordelt, og at normalfordelingen er avhengig av temperaturen til gassen, høyere temperatur gir flere partikler med høy hastighet. Siden gass med høyere temperatur har flere partikler med høy hastighet, er det rimelig å anta større avvik fra λ_0 , for stjerner med høyere temperaturer. Dette viser seg å være tilfellet, og hvis vi bruker det at hastigheten er normalfordelt, og termodynamikk, kan vi finne formelen til fluksen vi mottar:

$$F(\lambda) = F_{cont}(\lambda) + (F_{min} - F_{cont}(\lambda))e^{-(\lambda - \lambda_0)^2 / (2\sigma^2)} \quad (1)$$

* astrologi@gmail.com

Der $F(\lambda)$ er fluksen vi observerer, F_{cont} er fluksen vi observerer når det ikke er noe absorpsjon, F_{min} er den minste fluksen vi observerer, λ er bølgelengde, λ_0 er bølgelengden til spektrallinjen vi observerer, og σ er standardavviket (se side 9 i [1]). Siden F er normalfordelt kan vi uttrykke σ som følger:

$$\sigma = \frac{FWHM}{\sqrt{8\ln 2}} \quad \text{der} \quad FWHM = \frac{2\lambda_0}{c} \sqrt{\frac{2kT\ln 2}{m}} \quad (2)$$

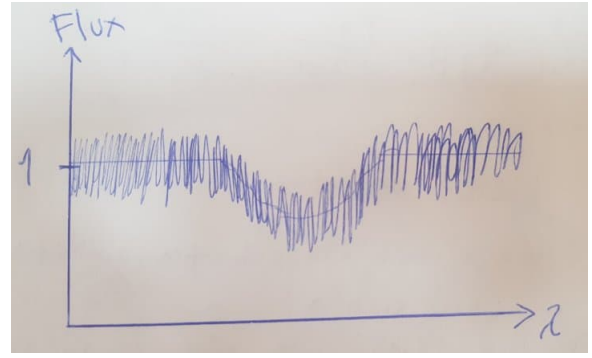
Her er σ standardavvik, FWHM er bredden til kurven halvveis opp/ned til topp-/bunnpunktet, λ_0 er bølgelengden til spektrallinjen vi observerer, k er Maxwell-Boltzmann konstanten, og m er partikkelmassen. Formelen for σ er hentet fra [3], og formelen for FWHM er hentet fra [1]. Observerer at σ blir større med høyere temperaturer.

I tillegg til at fluksen blir normalfordelt, kan vi observerer en forskyvning av grafen basert på om stjernen beveger seg mot eller fra oss. Doppler effekt er gitt ved:

$$v_r = c \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \quad (3)$$

Der v_r er hastighetskomponenten mot eller fra oss, λ er bølgelengden vi observerer, c er lysfarten, og λ_0 er bølgelengden vi ville observert hvis vi ikke hadde hatt noe relativ hastighet. Dette betyr at hvis stjernen beveger seg relativ til oss, vil også spektrallinjene forskyve seg. Det er viktig å merke seg at det kun er hastighetskomponenten fra eller mot observatøren, som bidrar til doppler effekt. Hvis stjernen er på vei vekk fra oss, vil bølgelengden bli større, og bølgelengden til spektrallinjen også øke, og motsatt.

Siden vi vet at $\lambda_0 = 656.3\text{nm}$, kan vi finne ut om stjernen har en hastighet relativ til oss. Først må vi identifisere hvor mye λ_0 er forskjøvet, og da må vi vite hvor på grafen vi kan finne λ_0 som er forskjøvet. Siden det kun er hastighetskomponenten i en retning som gir opphav til doppler effekt, burde det være vanligst å ha tilnærmet null doppler effekt. Dette er fordi hastighet har en komponent i tre retninger, og det er kun en retning som gir opphav til doppler effekten. På grunn av dette burde den forskjøvede λ_0 være lokalisert i det punktet fluksen er lavest. Når vi plotter dataen burde plottet se ut som følger:



Figur 1. Relativ fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi relativ fluks, som funksjon av bølgelengden vi gjør observasjoner på. Det at grafen hopper opp og ned er støy.

Figur 1 illustrerer hvordan vi forventer at plottene skal se ut. Vi kan se formen til en normalfordeling, med støy fra f.eks. måleinstrumentene. Hvis vi bruker øyemål burde vi klare å finne en omtrentlig hastighet til stjernen. Dette gjør vi for å finne forventede verdier, men siden det er vanskelig å lese av figuren, velger vi å bruke minste kvadraters metode. Minste kvadraters metode går ut på å finne den minste summen av følgende uttrykk:

$$\sum (F^{obs}(\lambda) - F^{model}(\lambda, F_{min}, \sigma, \lambda_{center}))^2 \quad (4)$$

Her er F^{obs} fluksen vi observerer, og F^{model} den analytiske modellen til F^{obs} , altså likning 1, med $\lambda_0 = \lambda_{center}$, se [1]. Hvorfor den har akkurat denne formen har bakgrunn i statistikken, men en forenklet forklaring er at vi finner den grafen som har minst data utenfor modellen, og blir derfor den mest sannsynlige modellen gitt den dataen vi har. F_{min} , σ og λ_{center} er de ukjente verdiene, og på grunn av støy, er det vanskelig å lese av eksakte verdier. Vi kan derimot observere hva det minst, og maks kan være. Deretter kan vi prøve forskjellige verdier innenfor intervallet, og slik finne de verdiene som gir den minste summen. Vi vet fra [3] at 95 prosent ligger innenfor 2σ . Hvis vi tar utgangspunkt i figur 1, er en mulig fremgangsmåte, å ta litt over, og litt under halvparten av bredden der vi observerer nedgang i fluks, dele på to, og slik har vi nedre og øvre begrensning for σ . F_{min} burde være minste fluksen vi observerer, og λ_{center} er x-kordinaten til F_{min} , igjen velger vi et intervall slik at vi er sikker på at de egentlige verdiene er med. For å finne verdiene vi skal teste for, deler vi opp intervallet i n deler, og tester for alle delene. Valget av n har ingen fasit, større n burde gi mer nøyaktig svar, men på bekostning av tregere kode. Her gjelder det å prøve forskjellige verdier, og se hva som passer dataen best.

Siden vi har 10 dager med data, må vi bruke mye øyemål til å bruke minste kvadraters metode, derfor kan det være gunstig å automatisere dette. Antar at vi har brukt samme verktøy for alle observasjonene, og derfor tilnærmet samme støynivå alle dagene. I tillegg gjør vi observasjon på samme stjernen alle dagene, gitt at det

ikke skjer noe ekstraordinært, burde temperaturen til stjernen være tilnærmet konstant. Siden formen på normalfordelingen er avhengig av temperatur, burde σ være den samme, og vi bruker derfor det samme intervallet for maks- og minimums verdi for σ . Minimum fluks burde antakeligvis også være konstant, men vi er litt usikker på dette, og regner derfor med at den ikke er konstant. Den siste verdien er λ_{center} , og vil ikke nødvendigvis være konstant. Hvis stjernen har legemer i bane rundt seg, kan dette endre på hastigheten til stjernen, slik at vi også observerer dette. For å finne maks- og minimumsverdiene automatisk, antar vi som sagt konstant støy, og da burde det eksistere en konstant verdi, som vi kan bruke for å finne intervallene. Det vi mener med dette, er at hvis vi tar minimum fluksen til alle grafene, plusser på en konstant verdi, får vi minimumsverdien til fluksen, og hvis vi plusser på en annen konstant verdi, får vi maksimumsverdien til fluksen. Vi kan deretter finne intervallet til λ_{center} , ved å plusse og trekke fra en konstant verdi, på bølgelengden som tilsvarer minimum fluks. Disse konstantene vil være de samme for alle figurene, og vi finner verdiene ved å se på støyet til hastighetsplottene i resultatdelen.

Hvis vi har variasjon i λ_{center} , kan dette bety at det er et annet legeme som går i bane rundt stjernen. Bruker vi likning 3, der λ er λ_{center} , kan vi plote hastigheten til stjernen i forhold til oss som funksjon av dager. Hastigheten til stjernen består av summen av hastigheten til massesenteret i forhold til oss, som vi kaller egenhastighet, og den radielle hastighetskomponenten til hastigheten til stjernen i forhold til massesenteret. Altså hastigheten til stjernen sett fra massesenteret, der vi kun ser på hastighetskomponenten som er i radiell retning sett fra oss, og vi kaller denne hastigheten for den radielle hastigheten til stjernen v_r . Vi er kun ute etter v_r , og må derfor trekke fra egenhastigheten. Hvis vi antar at stjernen har sirkelbane, vil hastigheten vi observere ha formen til en sinuskurve, og egenhastigheten blir da gjennomsnittet av hastigheten over en periode, se [2] for mer informasjon. Derfor blir den radielle hastigheten til stjernen, hastigheten vi observerer, minus egenhastigheten, altså gjennomsnittet over en periode. Grunnen til at det må være over en periode, er på grunn av at gjennomsnittet av den radielle hastigheten over en periode er null, og derfor sitter vi kun igjen med egenhastigheten.

Hvis vi observerer en slik hastighetskurve, og antar at det kun er ett legeme i bane rundt stjernen, kan vi regne ut en tilnærmet nedre grense for massen til dette legemet.

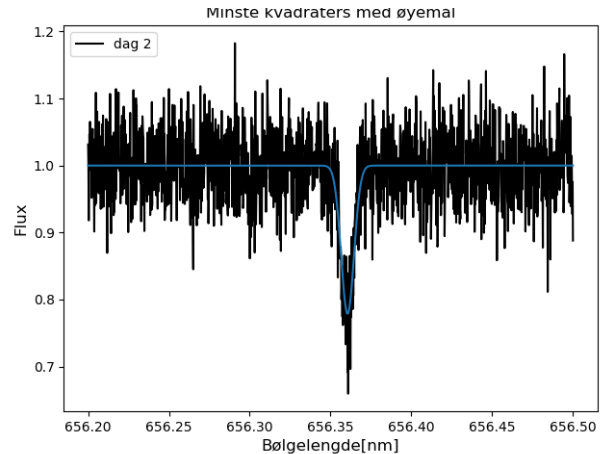
$$m_p = \frac{m_*^{2/3} v_{*r} P^{1/3}}{(2\pi G)^{1/3}} \quad (5)$$

Der m_p er massen til legemet, m_* massen til stjernen, v_{*r} er maksimal radiell hastighet til stjernen, P er perioden til stjernen eller legemet, og G er gravitasjonskonstanten, se [2] for utledning. Rapporten Oppgave 1C.4: Analyse av stjerner og [2], forklarer nærmere hvorfor dette gir en nedre begrensning for massen til legemet, men kort fortalt antar vi at det planet sirkelbanen til legemet omslutter, er parallell med vår synslinje, deret-

ter med en kombinasjon av Keplers tredje lov, som sier noe om forholdet mellom perioden og radiusen til banen, og posisjonsvektorene til legemet og stjernen i forhold til massesenteret, får vi likning 5, som sier noe om minst mulig masse til legemet, som er i bane rundt stjernen.

III. RESULTATER

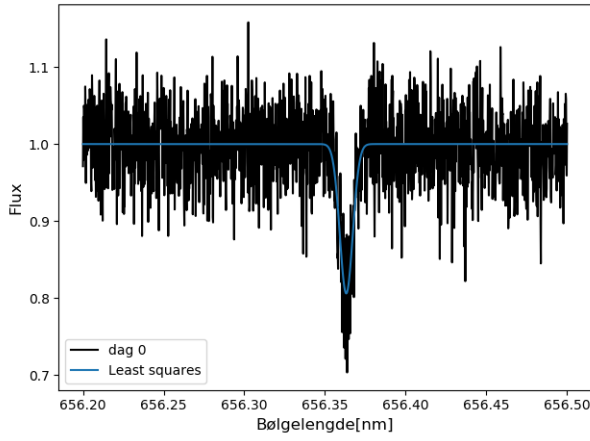
Først plottet vi fluks som en funksjon av bølgelengde, og det analytiske uttrykket minste kvadraters metode ga oss, ved å bruke øyemål for maks, og minimumsverdier.



Figur 2. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 2, som funksjon av bølgelengden, med minste kvadraters metode kurven over.

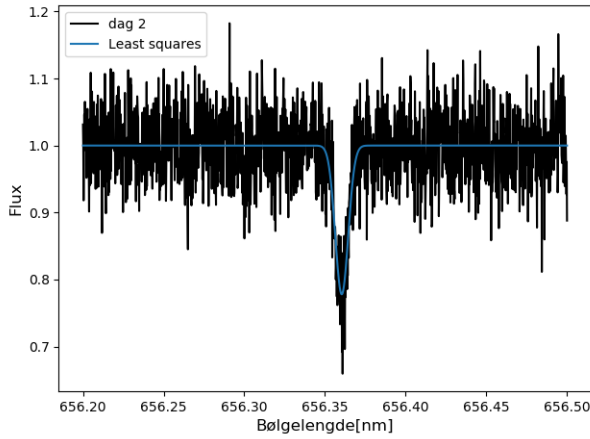
Her brukte vi øyemål for å komme frem til intervallene vi skulle bruke minste kvadraters metode på. Da kom vi fram til at F_{min} er mellom 0.8 og 0.7, σ mellom 0.001 og 0.02, og at λ_{center} lå mellom 656.34nm og 656.37nm. Vi valgte å dele opp intervallene i $n = 20$, siden vi ikke kunne observere at resultatet ble mer nøyaktig for høyere n .

Figur 3 til figur 12 viser fluksplottene til stjernen, for alle dagene, og ved å observere de, kom vi frem til at, F_{min} lå mellom minimumsverdien til fluksen, pluss med 0.05 som minste verdi, og pluss med 0.15 som maksverdi. Vi fant også ut at λ_{center} lå mellom bølgelengden i punktet vi hadde minste fluksen, pluss-minus 0.01nm. Siden vi antar konstant temperatur, valgte vi fortsatt minimum σ som 0.001 og maks σ som 0.02. Vi valgte $n = 20$ intervaller siden dette ga et godt resultat for figur 2. Dette ga følgende plott for dag 0:



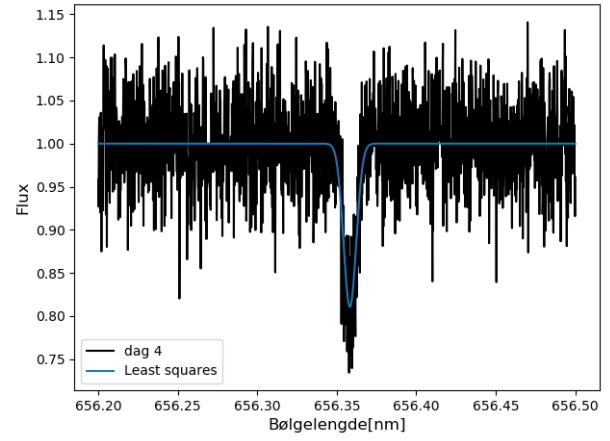
Figur 3. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 0, som funksjon av bølgelengden, med automatisk minste minste kvadraters metode kurven plottet over.

Her observerer vi observert fluks til dag 0 og den analytiske modellen vi fant plottet over. Vi kan lese av grovt hvor mye λ_0 har forskjøvet seg, men også hvor mye den er forskjøvet i følge minste kvadraters metode. Dette gjorde vi alle dagene, og verdiene finner man i tabell 1 under figur 12.



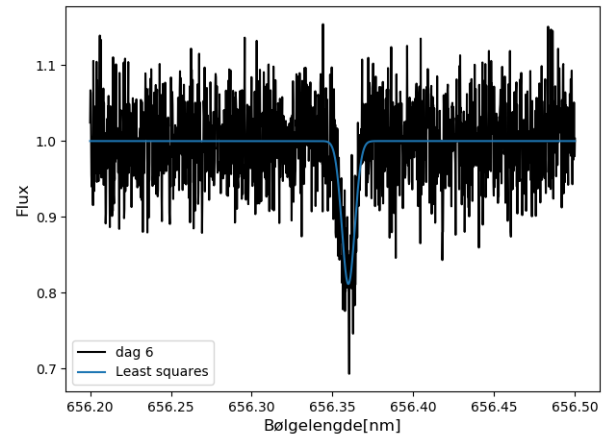
Figur 4. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 2, som funksjon av bølgelengden, med automatisk minste minste kvadraters metode kurven plottet over.

Dette er den observerte fluksen til dag 2, og den analytiske modellen plottet over.



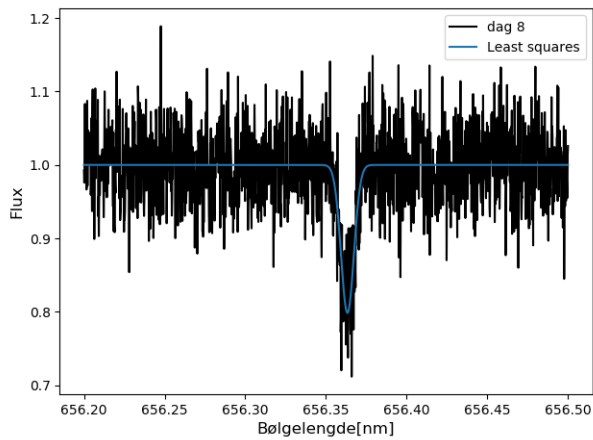
Figur 5. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 4, som funksjon av bølgelengden, med automatisk minste minste kvadraters metode kurven plottet over.

Her ser vi den observerte fluksen til dag 4, og den analytiske modellen plottet over.



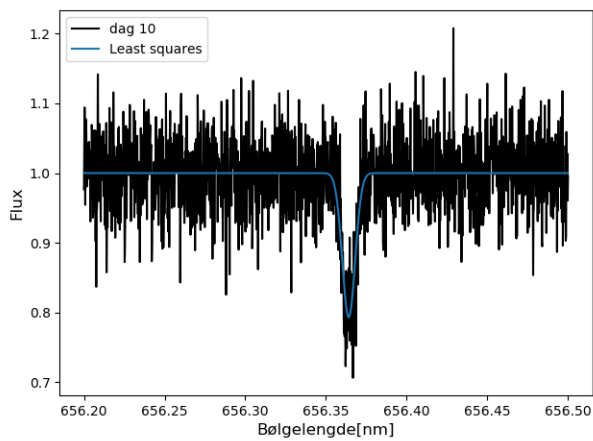
Figur 6. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 6, som funksjon av bølgelengden, med automatisk minste minste kvadraters metode kurven plottet over.

Her ser vi den observerte fluksen til dag 6, og den analytiske modellen plottet over.



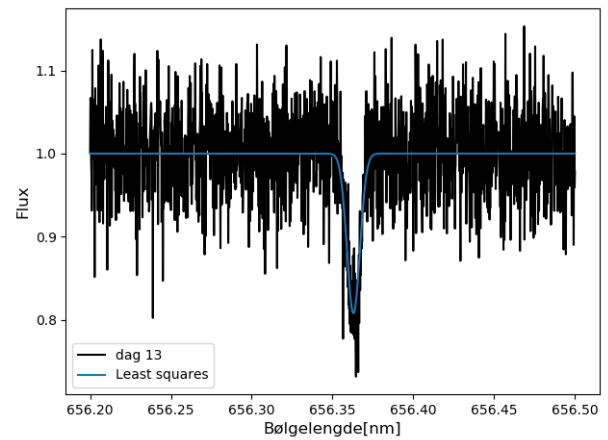
Figur 7. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 8, som funksjon av bølgelengden, med automatisk minste minste kvadraters metode kurven plottet over.

Her ser vi den observerte fluksen til dag 8, og den analytiske modellen plottet over.



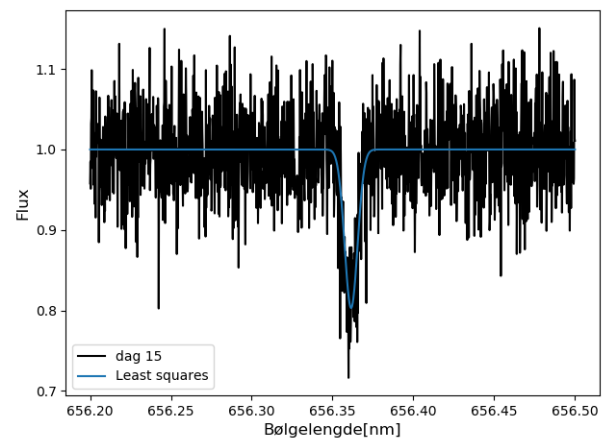
Figur 8. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 10, som funksjon av bølgelengden, med automatisk minste minste kvadraters metode kurven plottet over.

Her ser vi den observerte fluksen til dag 10, og den analytiske modellen plottet over.



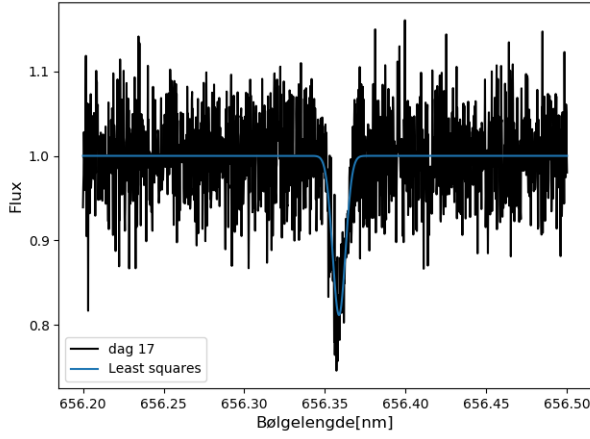
Figur 9. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 13, som funksjon av bølgelengden, med automatisk minste minste kvadraters metode kurven plottet over.

Her ser vi den observerte fluksen til dag 13, og den analytiske modellen plottet over.



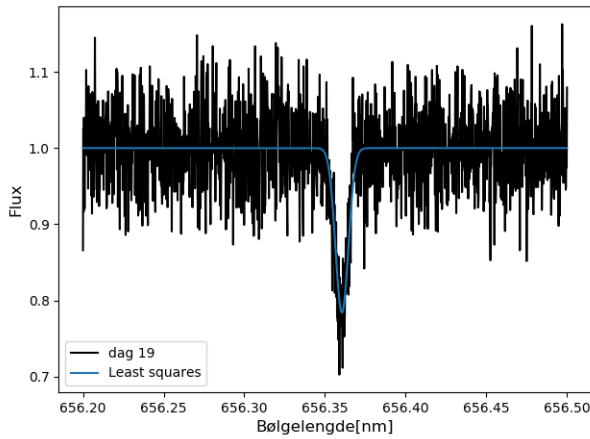
Figur 10. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 15, som funksjon av bølgelengden, med automatisk minste minste kvadraters metode kurven plottet over.

Her ser vi den observerte fluksen til dag 15, og den analytiske modellen plottet over.



Figur 11. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 17, som funksjon av bølgelengden, med automatisk minste kvadraters metode kurven plottet over.

Her ser vi den observerte fluksen til dag 17, og den analytiske modellen plottet over.



Figur 12. Fluks som funksjon av bølgelengde: Her ser vi observert fluks til dag 19, som funksjon av bølgelengden, med automatisk minste kvadraters metode kurven plottet over.

Her ser vi den observerte fluksen til dag 19, og den analytiske modellen plottet over.

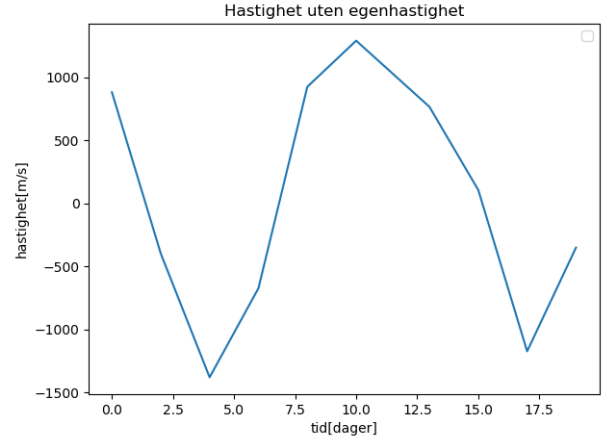
Som sagt leste vi av hvor mye λ_0 hadde forskjøvet seg, både med øyemål og ved hjelp av minste kvadraters metode. I tabell 1 har vi listet opp verdiene, men også regnet ut hvilken radiell hastighet dette tilsvarer. Merk at det er radiell hastighet til stjernen som er listet opp under, altså vi har trukket fra egenhastigheten. Etter vi brukte minste kvadraters metode, og regnet ut hastigheten til stjernen, fant vi ut at dette var tilnærmet en periode, så vi tok gjennomsnittet av hastighetene, og fant at egenhastigheten var på rundt 27979 m/s, se figur 13. Vi brukte likning 3 for doppler effekten, der $\lambda_0 = 656.3\text{nm}$ og satte $\lambda - \lambda_0 = \Delta\lambda$, trakk fra egenhastigheten og slik

fant vi den radielle hastigheten til stjernen.

Tabell 1: Kolonne 1 og 2 inneholder endring i bølgelengde i nanometer, både ved øyemål, og ved å bruke minste kvadraters metode, markert med MK. kolonne 3 er hastigheten i m/s, λ øyemål ga, og kolonne 4 er hastigheten i m/s $\Delta\lambda$ MK ga.

	$\Delta\lambda$ øyemål	$\Delta\lambda$ MK	v_r øyemål	v_r MK
Dag 0	0.065nm	0.063nm	1732 m/s	882 m/s
Dag 2	0.060nm	0.060nm	-552 m/s	-397 m/s
Dag 4	0.055nm	0.058nm	-2838 m/s	-1379 m/s
Dag 6	0.050nm	0.059nm	-5123 m/s	-672 m/s
Dag 8	0.060nm	0.063nm	-552 m/s	925 m/s
Dag 10	0.065nm	0.64nm	1732 m/s	1291 m/s
Dag 13	0.060nm	0.063nm	-552 m/s	766 m/s
Dag 15	0.065nm	0.061nm	1732 m/s	106 m/s
Dag 17	0.060nm	0.059nm	-552 m/s	-1173 m/s
Dag 19	0.065nm	0.060nm	1732 m/s	-350 m/s

Hvis vi plottet radiell hastighet til stjernen som funksjon av tid får vi:



Figur 13. Hastighetplott til stjernen: Figuren viser hastigheten til stjernen i m/s, som en funksjon av tid i dager.

Figur 13 viser hvordan den radielle hastigheten v_r til stjernen, varierer fra dag til dag. Avstanden mellom topp- og bunnpunkt ganget med to, er perioden og ser ut til å være 14 dager, maksimal hastighet er toppunktet, og ser ut til å være rundt 1200 m/s. Vi vet at massen til stjernen er tilnærmet en solmasse, så hvis vi setter dette inn i likning 5, får vi at et minst mulig masse burde være rundt $2 \cdot 10^{28}\text{kg}$, altså rundt 10 ganger massen til Jupiter.

IV. DISKUSJON

Figurene 3-12 fant vi automatisk intervallene vi skulle bruke i minste kvadraters metode. Det ser ut til at figurene stemmer godt overens med fluksen vi faktisk observerer, siden det analytiske plottet er omtrent midt i støyet hele tiden. Figur 2 og figur 4 viser begge det analytiske uttrykket, bare at vi brukte øyemål på figur 2, og den

automatiserte metoden for figur 4. Visuelt ser de ganske like ut, bortsett fra at grafen i figur 4 ser ut til å være litt dypere. Vi burde forvente å se noe avvik, siden vi ser på forskjellige intervaller, men dette kan også tyde på at metoden vi brukte for å automatisere minste kvadraters metode er feil. Metoden vi brukte til å automatisere minste kvadraters metode, var nettopp det å legge til konstante verdier, siden vi antok at støyet er konstant. Først og fremst er ikke støyet nødvendigvis konstant, selv hvis vi bruker samme instrumenter. Hvis instrumentet er under en atmosfære, vil støyet også variere fra dag til dag på grunn av værforhold. I tillegg fant vi konstantene ved å bruke øymål, som er vanskelig med de plottene vi er gitt, men uansett ser det ut som at modellene passer dataen ganske bra.

Vi fant forskyvning av λ_0 både ved hjelp av øymål, og ved hjelp av minste kvadraters metode. Det er vanskelig å lese av figurene, og verdiene vi leste av stemmer ikke overens med verdiene vi fant gjennom minste kvadraters metode. Planen var å bruke øymål til å undersøke om verdiene vi fikk fra minste kvadraters metode var gunstige, men siden det var så vanskelig å lese av figurene, ser det ut til å være en dårlig metode.

Vi plottet den radielle hastigheten til stjernen som funksjon av dager. Det er få datapunkter, men ser fortsatt litt ut som en sinuskurve. Vi antar at det kun er ett legeme i bane rundt stjernen, som ikke nødvendigvis er tilfellet. Da vi fant den nedre nedre begrensning for massen til legemet, brukte vi øymål. På grunn av få datapunkter ble det ganske grovt, og massen ble på rundt 10 Jupitermasser. Det er vanskelig å konkludere hva slags legeme det er, siden 10 Jupitermasser grenser til massen til en brun dverg. Men vi må huske at dette er den minst

mulige massen, så massen kan egentlig være mye større. Vi kunne også brukt minste kvadraters metode på hastighetsplottet til stjernen, siden det eksisterer et analytisk uttrykk, men på grunn av få datapunkter er det usikkert om dette gir et godt resultat.

Da vi brukte minste kvadraters metode måtte vi velge hvor mange verdier vi skulle dele intervallene opp i. Vi kom frem til at $n = 20$ var bra siden vi ikke kunne observere at høyere n ga noe bedre analytisk plott, men det kan hende at vi kunne observert forskjeller i hastighetsplottet til stjernen, og kunne derfor vært interessant å se hvordan hastighetsplottet til stjernen endrer seg for høyere eller lavere n .

V. KONKLUSJON

Minste kvadraters metode ser ut til å være en god metode til å finne det analytiske plottet til absorpsjonsspektret. Da vi prøvde å automatisere minste kvadraters metode, gjorde vi antagelsen om at støyet var konstant, noe som ikke nødvendigvis stemmer, samtidig som at vi hadde noe avvik fra resultatet der vi brukte øymål. Uansett ser modellene vi fant gjennom automatisk minste kvadraters metode ut som en god modell, og siden det er så vanskelig å lese av figurene, er det en mye bedre metode for å finne den radielle hastigheten til stjernen.

Hastighetsplottet til stjernen har få datapunkter, og dataen vi henter blir derfor også grove estimater. Vi antok også at det kun er ett legeme i bane rundt stjernen, og kom frem til at stjernen har et legeme i bane, med minimum masse på 10 Jupitermasser, altså grenseland av massen til en brun dverg.

-
- [1] Hansen, F. K., 2017, Forelesningsnotat 1D i kurset AST2000
 [2] Hansen, F. K., 2017, Forelesningsnotat 1C i kurset AST2000

- [3] Hansen, F. K., 2017, Forelesningsnotat 1A i kurset AST2000
 [4] http://folk.uio.no/frodekh/AST1100/part1D_1/seed13/