

Un regard sur GJ 3090

Dans le cadre de ma maîtrise, j'écris un article scientifique sur le système planétaire autour de GJ 3090. C'est une étoile de type $\sim M2$ ($T_{eff} \approx 3600K$) dans la constellation du Phénix (visible dans l'hémisphère sud) et elle se trouve à une distance de 73 années lumières ou 700 000 000 000 000 km .

Une planète a été découverte autour de l'étoile GJ 3090 par le télescope spatial TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) qui a pour but de regarder l'entièreté du ciel afin de trouver des signaux de transit. Un suivi de vitesses radiales a ensuite été lancé avec l'instrument HARPS (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher) afin de trouver la masse de la planète.

Le transit observé par TESS a permis de déterminer le rayon de la planète ($R_p = 2.13 \pm 0.11 R_{\oplus}$) et les mesures de vitesses radiales prises par HARPS ont dévoilé sa masse ($M_p = 3.34 \pm 0.72 M_{\oplus}$). Ces caractéristiques la place dans le régime des sous-neptunes. À partir de la masse et du rayon de la planète, il est possible, sachant qu'une planète est en forme de sphère, de calculer sa densité ($\rho = 1.89 \pm g/cm^3$).

Cette densité est anormalement faible pour une planète de ce type ce qui nous pousse à penser que son atmosphère est particulièrement "puffy", c'est-à-dire que la faible gravité de surface de la planète lui permet de s'étaler jusqu'à une hauteur importante. Ceci facilite les mesures de spectroscopie de transit qui nous permettent de déterminer la composition de son atmosphère.

GJ 3090 a donc récemment été observé par le nouveau télescope spatial James Webb qui se spécialise en spectroscopie de transit et les résultats seront bientôt publiés. Cependant!!! Afin de déterminer la composition et la structure de l'atmosphère de GJ 3090b avec le plus de précision possible. Il est important d'avoir une mesure de masse exact et précise. C'est pour cela que l'équipe NIRPS a décidé d'observer GJ 3090 afin d'obtenir une mesure de masse plus précise que la précédente et ainsi améliorer significativement les conclusions de l'étude sur l'atmosphère de l'exoplanète. Le but est aussi de modéliser et de comprendre la structure interne de la planète (ce qu'il se trouve sous la surface de ce monde lointain), mais aussi potentiellement de découvrir d'autres planètes orbitant GJ 3090.

Le consortium NIRPS m'a donné la responsabilité de mener cette étude sur le système GJ3090.

Aidez-moi à mener l'analyse des données NIRPS de GJ 3090. C'est à vous de jouer!

Étapes

1. Allez jeter un coup d'oeil à l'article de découverte de GJ 3090b: <https://www.aanda.org/article/s/aa/abs/2022/09/aa43975-22/aa43975-22.html>. Survolez l'article: Lisez le résumé et la conclusion et regardez les figures. Recherchez de l'information qui pourrait vous être utile plus tard, mais vous pourrez bien sûr y revenir en temps et lieu.
2. "To know thy planet, you must know thy star". Afin de modéliser correctement les vitesses radiales nous provenant de l'instrument NIRPS, nous devons d'abord comprendre les caractéristiques de l'activité stellaire (**Quelles sont-t-elles?**). Nous ferons ceci en analysant un indicateur d'activité récemment développé à l'Université de Montréal: ΔT . En regardant les faibles différences de température de l'étoile à travers le temps, nous pouvons en apprendre davantage sur les effets de l'activité stellaire. Votre mission sera d'ajuster un processus gaussien (GP) sur les données ΔT de GJ 3090 dans un nouveau notebook intitulé

`activity_indicator_analysis.ipynb`. Ces données se trouvent dans la table de données que je vous fournis. Voici comment y accéder:

```
from astropy.table import Table

data_tbl = Table.read('tbl2_NIRPS_GJ3090_GJ3090_preprocessed.rdb', format='rdb')

time, dTemp, err_dTemp = data_tbl['rjd'], data_tbl['DTEMP3500'],
data_tbl['SDTEMP3500']
```

Dans un premier temps, examinez les données en les mettant dans un graphique. Et ensuite, "fittez" un GP à travers les données en utilisant le notebook que nous avons utilisé à notre dernière rencontre (`Introduction_aux_GPs.ipynb`). **Comment pourriez-vous choisir les priors?** Les résultats de cette analyse vous seront utiles plus tard afin d'identifier correctement quels signaux dans les vitesses radiales sont dû à l'activité stellaire.

3. Pour l'instant, nous allons ignorer l'activité stellaire et tenter de modéliser les RVs uniquement avec des signaux képlériens. Utilisez votre notebook `N_planet_with_numpyro.ipynb` afin d'analyser les données de vitesses radiales de GJ 3090. Tentez premièrement de retrouver GJ 3090b (la planète qui transit) dans les données de vitesses radiales en utilisant comme priors les paramètres trouvés par Almenara et al. (2022). **Notez la semi-amplitude trouvée par votre modèle. Quelle est la masse que vous trouvez pour GJ 3090b? Concorde-t-elle avec celle de l'article de découverte?**

```
# Comment calculer la masse d'une planète à partir de sa semi-amplitude?

import radvel

M_samples = radvel.utils.Msini(K_samples, P_samples,
                               M_star, ecc_samples) # Calculate mass

inc_samples = np.random.normal(87.13, 0.3, len(K_samples)) # Inclination from
transit study from Almenara et al. (2022)

M_samples /= np.sin(np.radians(inc_samples)) # Divide by sin(i)

print(f"M = {np.median(M_samples):.2f} +/- {np.std(M_samples):.2f}")
```

Ensuite, essayez un modèle à 2 planètes en gardant un prior ouvert pour la deuxième planète. **Avez-vous trouver une deuxième planète? Êtes-vous confiantes en son existence? La masse de la planète TESS a-t-elle changé en ajoutant cette deuxième planète au modèle?**

3. Il est temps d'ajouter l'activité stellaire à notre analyse des vitesses radiales. Le but est de modéliser les signaux képlériens et l'activité stellaire simultanément dans les données RV. Créez un nouveau notebook intitulé `N_planet+GP_with_numpyro.ipynb` dans le quel vous allez essentiellement faire la même chose que dans le notebook `N_planet_with_numpyro.ipynb`, mais en ajoutant un processus gaussien (GP) au modèle. De cette manière, vous pourrez modéliser à la fois les planètes et le signal quasi-périodique de l'activité stellaire dans les données. Pour les priors du GP, utilisez des distributions *Normal* autour de la solution trouvée dans le notebook `activity_indicator_analysis.ipynb`. De cette manière, nous implémentons dans notre recherche de planètes la connaissance

acquise précédemment sur les caractéristiques de l'activité stellaire. C'est une manière de s'assurer que le GP se concentre à modéliser le signal quasi-périodique de l'activité et non les signaux des planètes. **En quoi vos résultats diffèrent de votre modèle uniquement képlérien? Quelle est la masse de GJ 3090b? Concorde-t-elle avec celle de l'article de découverte? Trouvez-vous une deuxième planète? Si oui, quelles sont ses caractéristiques?**