



Mesure de la rotation dans les rotateurs modérément actifs

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DAP/LDE3](#)

Candidature avant le 01/09/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [GARCIA, Rafael A.](#)
0169082725
rgarcia@cea.fr

Résumé

La mission de l'ESA PLATO (lancement fin 2026), a pour objectif de découvrir et de caractériser des systèmes planétaires semblables à la Terre. L'objectif de cette stage est de mesurer la rotation de surface des étoiles modérément actives semblables au Soleil.

Sujet détaillé

La mission Planetary Transits and Oscillations of stars (PLATO, Rauer et al. 2014) sera lancée fin 2026 par l'Agence spatiale européenne (ESA), avec pour objectif de découvrir et de caractériser des systèmes planétaires semblables à la Terre. Dans cette optique, être capable de mesurer la rotation de surface des analogues solaires modérément actifs est à la fois un défi et un élément clé dans l'étude de ces systèmes. La conception des algorithmes pour mesurer la rotation et l'activité de la surface stellaire dans PLATO est sous la responsabilité de l'observatoire de Catane (Italie, INAF-OACT, Dr. Isabella Pagano, co-PI de la mission PLATO) tandis que le CEA Saclay est responsable de leur implémentation dans le système d'analyse stellaire PLATO (SAS), qui est l'ensemble des outils terrestres développés pour fournir les résultats stellaires à la communauté scientifique.

Ce stage se veut une introduction à la physique des étoiles de type solaire et à la mise en œuvre et l'exploitation de techniques d'analyse de données de pointe dans ce domaine. Il a pour but d'explorer et d'évaluer l'efficacité de nouvelles techniques pour mesurer la rotation des étoiles modérément actives, en plus des algorithmes déjà inclus dans le SAS. L'étudiant mettra en œuvre la méthode GPS (gradient power spectrum) et évaluera les performances et la robustesse d'une telle technique en l'appliquant à la fois aux observations réelles de Kepler et aux courbes de lumière simulées par PLATO, en comparant les résultats obtenus avec les catalogues de référence de la littérature.

Le stage se déroulera au Département d'Astrophysique (DAP) du CEA Saclay (Orme des Merisiers, Gif-sur-Yvette, Essonne), au sein du Laboratoire de Dynamique des Etoiles, des (Exo)planètes et de leurs Environnements (LDE3). L'étudiant travaillera sous la supervision du Dr. Rafael A. García (LDE3, CEA Saclay) et du Dr. Sylvain N. Breton (INAF-OACT). Une visite de travail de quelques semaines à Catane pendant la durée du stage est possible. L'étudiant bénéficiera également du réseau de collaboration du groupe, avec la possibilité de travailler en collaboration avec

l'Instituto de Astrofísica de Canarias (Espagne, contact : Dr. Savita Mathur) et l'Universidade do Porto (Portugal, contact : Dr. ngela R.G. Santos).

Les résultats obtenus seront présentés sous forme de poster lors d'une des conférences d'été de notre communauté.

L'étudiant participera également aux discussions scientifiques du groupe et pourrait éventuellement participer à d'autres projets en cours liés à PLATO. Le stagiaire présentera son travail et contribuera aux discussions scientifiques sur les articles récemment publiés. Ces présentations ont lieu sous forme de téléconférences bihebdomadaires au sein de notre réseau de collaborateurs.

Mots clés

Physique solaire et stellaire, Dynamique des étoiles, Gyrochronologie, Analyses des données

Compétences

Analyses des données, Méthodes numériques, Domaine de Fourier, Analyses par wavelets et auto-correlation des signaux, Data Mining.

Logiciels

Python

Measuring rotation in moderately-active rotators

Summary

ESA's PLATO mission (launch at the end of 2026) aims to discover and characterize Earth-like planetary systems. The objective of this internship is to measure the surface rotation of moderately active stars similar to the Sun.

Full description

The Planetary Transits and Oscillations of stars (PLATO, Rauer et al. 2014) mission will be launched late 2026 by the European Space Agency (ESA), with the goal to discover and characterise Earth-like planetary systems. In this view, being able to measure the surface rotation of moderately-active solar analogs is both a challenge and a key element in studying these systems. The design of the algorithms to measure stellar surface rotation and activity in PLATO are under the responsibility of the Catania observatory (Italy, INAF-OACT, Dr. Isabella Pagano, co-PI of the PLATO mission) while CEA Saclay is responsible for their implementation in the PLATO Stellar Analysis System (SAS), which is the ensemble of the ground-based tools developed to provide the stellar results to the scientific community.

This internship is meant to be an introduction to the physics of solar-type stars and to the implementation and exploitation of cutting-edge data analysis techniques in this field. It is dedicated to explore and assess the efficiency of novel techniques to measure rotation in moderately-active stars, in addition to the algorithms that are already included in the SAS. The student will implement the gradient power spectrum, GPS, method and will assess the performances and robustness of such a technique by applying it both on Kepler actual observations and PLATO simulated light curves, comparing the obtained results with reference catalogues from the literature.

The internship will take place at the Astrophysics division (DAp) of the CEA Saclay (Orme des Merisiers, Gif-sur-Yvette, Essonne), among the Dynamics of Stars, (Exo)planets and their Environments Laboratory (LDE3). The student will work under the supervision of Dr. Rafael A. García (LDE3, CEA Saclay) and Dr. Sylvain N. Breton (INAF-OACT). A working visit of a few weeks in Catania during the time of the internship is a possibility. The student will also benefit from the collaboration network of the group, with possibilities to work in collaboration with the Instituto de Astrofísica de Canarias (Spain, contact: Dr. Savita Mathur) and the Universidade do Porto (Portugal, contact: Dr. ngela R.G. Santos).

The obtained results will be presented as a poster in one of the summer conferences of our community.

The student will also take part in the scientific discussions of the group and could eventually participate in other ongoing projects related with PLATO. The intern will present his/her work and contribute to the scientific discussions on papers recently published. These presentations take place in the form of biweekly remote telecoms within our network of collaborators.

Keywords

Solar and stellar physics, stellar dynamics, gyrochronology, data analysis

Skills

Data analysis, Numerical methods, Fourier domain, Wavelet analysis and signal auto-correlation, Data mining.

Softwares

Python



Cartographie des baryons dans les amas de galaxies au moyen de l'intelligence artificielle.

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DAP/LCEG](#)

Candidature avant le 19/04/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [PIERRE Marguerite](#)
+33 1 69 08 34 92
marguerite.pierre@cea.fr

Résumé

Le stage vise à étudier les propriétés du gaz intra-amas en fonction de la distribution sous-jacente de matière noire. On utilisera un réseau de neurones entraîné sur des simulations numériques afin, en particulier, de comprendre si les propriétés locales du gaz dépendent de la cosmologie et du redshift.

Sujet détaillé

Les amas de galaxies sont les entités les plus massives de l'univers.

Pour cette raison, ils constituent une sonde cosmologique importante à côté du CMB, des supernovae et BAO. L'émission en rayons X des amas nous renseigne sur la physique baryonique du gaz intra-amas qui joue un rôle clef dans la modélisation de la formation des grandes structures de l'univers.

Le but du stage est de cartographier et d'étudier la dépendance des propriétés du gaz intra-amas en fonction de la distribution de la matière noire sous-jacente. Au lieu d'utiliser le formalisme habituel des lois d'échelle pour relier les propriétés X à la masse des amas, nous avons développé un formalisme (ASpiX) qui encode la population des amas en fonction de leurs couleurs X. Ainsi, nous pouvons inférer les paramètres cosmologiques selon le principe du 'forward modelling', en réduisant au moins d'un facteur 6 le nombre des paramètres libres liés à la physique des amas, et en ayant accès directement à l'énergie insufflée par les AGN dans le milieu intra-amas.

Note but est d'entraîner un réseau d'apprentissage profond (par ex. un réseau conditionnel de diffusion) pour apprendre la relation entre les halos de matière noire et les baryons, en utilisant des simulation hydrodynamiques (par ex. CAMELS). Alors que la structure des halos dépend de la cosmologie et du redshift, nous voulons tester l'hypothèse que la densité et la température du gaz à une position donnée ne dépendent que des propriétés de la matière noire environnante. Ceci est un point névralgique qui sera testé avec soin, car cela permettrait de simplifier considérablement l'analyse cosmologique ultérieure.

Dans un second temps, la cartographie des baryons ainsi formulée nous permettra de traduire en bande X, des 'cônes de lumière' constitués par les halos de matière noire pour différentes cosmologies et valeurs du feedback des AGN. Ceci constitue une étape majeure vers l'inférence des paramètres cosmologiques d'après la population des amas de galaxies observée en rayons X.

Mots clés

cosmologie - simulations numeriques - X-ray astronomy

Compétences

Réseaux de neurones / réseaux conditionnel de diffusion Logiciel d'émission X

Logiciels

Python

Cosmological mapping of X-ray baryons in galaxy clusters using artificial intelligence.

Summary

The internship aims at the study of the intracluster gas, as a function of the underlying dark matter distribution. We shall use a neural network trained on numerical simulations to investigate whether the local gas properties depend on the cosmology and redshift.

Full description

Clusters of galaxies are the largest entities in the universe. For this reason, they constitute an important cosmological probe complementary to the CMB, supernovae and BAO. The X-ray emission of clusters provides insights into baryonic physics which plays a pivotal role in our modelling of mass assembly over cosmic time. The goal of the internship is to map and study the dependence of the cluster baryon properties on the density of the underlying dark matter. Instead of using traditional scaling relations to connect the X-ray properties to the cluster masses, we have developed a formalism (ASpiX) to encode the cluster population using X-ray colors. From this, a forward-modelling formalism allows us to infer the cosmological parameters, reducing the number of cluster-dependent free parameters by a factor of 6 or more and giving direct access to the energy input from AGN.

Our aim is to train a deep learning model (e.g., a conditional diffusion network) to learn the relationship between dark matter halos and baryons using cosmological hydrodynamical simulations (CAMELS). While the structure of the DM halos depends on cosmology and redshift, we hypothesize that the cluster gas density and temperature, at a given position, only depends on the surrounding DM properties; this is a key point to be thoroughly explored, since it would drastically streamline the cosmological analysis.

The learned baryon mapping will be used, in turn, to produce 'X-ray lightcones' as a function of cosmology and AGN feedback: marking an instrumental step towards the cosmological inference of an observed X-ray cluster population.

Keywords

cosmology - numerical simulations - X-ray astronomy

Skills

Neural network / conditional diffusion network X-ray emission code

Softwares

Python



Démonstration des performances d'un nouveau spectro-imageur X dur hautement pixelisé pour la physique des éruptions solaires.

Spécialité Instrumentation

Niveau d'étude Bac+5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DAP/LSIS](#)

Candidature avant le 20/04/2024

Durée 5 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [MEURIS Aline](#)

+33 1 69 08 12 73

aline.meuris@cea.fr

Résumé

A travers des mesures expérimentales en laboratoire, des analyses de données et des simulations, l'étudiant caractérisera les performances en spectroscopie et en imagerie d'un nouveau capteur à rayons X fabriqués avec un industriel et le CNES destinés aux télescopes spatiaux de future génération pour la physique solaire.

Sujet détaillé

CONTEXTE

Solar Orbiter est une mission spatiale de l'agence spatiale européenne en opération depuis 2020. Parmi ses 10 instruments, le Spectrometer Telescope Imaging X-Rays (STIX), basé sur une technique d'imagerie indirecte par transformée de Fourier, observe les éruptions solaires dans la bande d'énergie [4-150 keV] pour caractériser les processus d'accélération des électrons et de conversion de l'énergie magnétique dans la zone radiative du Soleil. La future génération de télescopes (comme la mission SPARK proposée à l'ESA en 2022) implique une imagerie directe des événements par l'utilisation de miroirs X de quelques secondes d'arc de résolution angulaire. Cette imagerie directe permettrait d'augmenter la cadence des images (sensibilité de détection et dynamique de comptage améliorées d'un facteur 20 à 100) et d'éviter la confusion de sources en cas de points chauds multiples. Elle nécessite le développement de spectro-imageurs sensibles aux photons X jusqu'à 150 keV et avec des pixels plus petits que 300 μm . Notre équipe de recherche a récemment développé un détecteur à base de semi-conducteur en CdTe de 32 x 32 pixels, avec des pixels de 250 μm de côté, lus par deux circuits d'électronique intégrée conçus spécifiquement par notre institut et constituant le spectro-imageur appelé MC2. Dans le cadre d'une thèse, de premières performances spectrales à l'état de l'art ont été obtenues avec un échantillon et un modèle physique numérique de la réponse du capteur a été développé.

SUJET

Pour démontrer la performance de notre concept dans une future mission spatiale comme SPARK, le stage comporte deux volets :

- Volet expérimental : L'objectif du stage est la mise en œuvre et la caractérisation des détecteurs de génération

suivante de 32 x 32 pixels dans un banc de mesure existant. Cette nouvelle génération emploie des technologies d'intégration très innovantes, en préparation de la conception d'une caméra X entièrement numérique. Des images sont obtenues en éclairant le détecteur avec une source de photons X et sont analysées pour obtenir des spectres en énergie et des cartes de comptage de photons. L'étudiant aura pour objectif d'effectuer des mesures sur le banc de test et d'analyser les résultats obtenus au moyen de scripts Python développés ou à développer.

- Volet de modélisation : Un modèle numérique complet de chaîne de détection, développé dans notre laboratoire et combinant la physique du détecteur à la réponse de l'électronique de lecture sera utilisé pour simuler la réponse du détecteur en fonction des topologies et de la brillance des éruptions solaires observées. L'étudiant étudiera plusieurs scénarios d'observation à travers les différents modes de lecture du système. Les résultats permettront de définir une stratégie de lecture pour la prochaine génération de circuits intégrés de lecture en cours de conception.

L'étudiant sera intégré à une équipe de R&D dynamique de 6 personnes, regroupant technicien, doctorant, ingénieurs électroniciens, physiciens instrumentalistes du Département d'astrophysique (DAp) et Département d'électronique de détecteurs et d'informatique pour la physique (DEDIP) de l'Irfu.

L'ensemble de ces résultats pourra faire l'objet d'une publication scientifique.

Mots clés

chaîne de détection, instrumentation spatiale, physique solaire

Compétences

Spectroscopie X, analyse de données spectrales, modélisations physiques

Logiciels

Python

Performance demonstration of a new hard X-ray highly pixelated spectroscopic imager for the observation of solar flares

Summary

Through experimental work in the lab, data analysis and simulations, the student will characterize the spectral and the imaging performance of a new sensor for X-rays designed and produced with an industrial partner and CNES, devoted to the next generation of space telescopes for solar physics

Full description

Keywords

detection chain, space instrumentation, solar physics

Skills

X-ray spectroscopy, spectral data analysis, physical modeling

Softwares

Python



L'alignement intrinsèque des galaxies: explorer la formation des galaxies et la cosmologie

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DAp/LCS](#)

Candidature avant le 01/03/2024

Durée 5 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [Kilbinger Martin](#)
+33 1 69 08 17 53
martin.kilbinger@cea.fr

Autre lien
https://www.cosmostat.org/jobs/internships-jobs/m2_intrinsic_alignment_2024

Résumé

L'objectif de ce stage est de mesurer l'alignement intrinsèque des galaxies en utilisant des données de lentille gravitationnelle faible, de calculer et modéliser la fonction de corrélation en termes de monopôle et quadripôle, tout en les testant sur des données disponibles.

Sujet détaillé

L'effet de lentille gravitationnelle faible, la distorsion des images des galaxies à grand décalage vers le rouge due aux structures de matière en premier plan à grande échelle, est l'un des outils les plus prometteurs de la cosmologie pour explorer le secteur sombre de l'Univers. L'analyse statistique des distorsions causées par la lentille peut éclaircir la distribution de la matière à grande échelle, contraindre les propriétés de la matière noire et de l'énergie sombre, et limiter les modèles de gravité modifiée.

Les prochaines relevés Euclid, Rubin/LSST et le télescope spatial Roman mesureront les paramètres cosmologiques avec une précision sans précédent. Pour atteindre cet objectif ambitieux, il est essentiel de comprendre correctement un certain nombre de comportements systématiques. Un défi clé est de comprendre en détail l'alignement intrinsèque des galaxies. Cet effet systématique résulte de la déformation cohérente des galaxies par les champs de marées dans lesquels elles se forment et évoluent. L'alignement intrinsèque peut produire des corrélations qui sont dégénérées avec celles provenant de la lentillage du profil lumineux et, par conséquent, pourraient biaiser l'estimation des paramètres cosmologiques si elles ne sont pas correctement prises en compte lors de la phase d'analyse.

L'objectif de ce stage de M2 est d'obtenir une mesure directe de l'alignement intrinsèque des galaxies en utilisant la combinaison de données de lentille gravitationnelle faible et spectroscopiques. L'étudiant construira un pipeline qui calcule et modélise les fonctions de corrélation monopôle et quadripôle, inspiré des méthodes utilisées pour la

clustering des galaxies. Les codes développés lors de ce stage seront testés sur des données de lentille gravitationnelle terrestres existantes disponibles au laboratoire CosmoStat.

Aujourd'hui, différents modèles existent pour décrire la contribution de l'alignement intrinsèque des galaxies dans une analyse de faible lentille gravitationnelle. Pour comprendre lequel de ces modèles offre la prédiction la plus précise, il est nécessaire de mesurer directement les propriétés de l'alignement intrinsèque. Cela est accompli en corrélant des galaxies dont les distances sont très précisément connues à partir de données spectroscopiques.

Nous utiliserons des données de faible lentille gravitationnelle provenant du relevé UNIONS, l'Ultra-violet Near-Infrared Northern Survey, ainsi que des données spectroscopiques provenant de BOSS et eBOSS (SDSS-III's [extended] Baryon Oscillation Spectroscopic Survey), et de DESI (Dark-Energy Spectroscopic Instrument).

L'étudiant développera le pipeline de mesure en utilisant les composantes monopôle et quadrupôle des fonctions de corrélation de l'alignement intrinsèque. Il ou elle appliquera ce pipeline aux données et contraindront les modèles d'alignement intrinsèque à l'aide des données disponibles dans notre groupe.

Mots clés

cosmologie, lentille gravitationnelle faible, formation des galaxies

Compétences

modélisation, analyse statistique

Logiciels

python

Intrinsic galaxy alignments: Probing galaxy formation and cosmology

Summary

The goal of this stage is to measure intrinsic galaxy alignment from weak-lensing and spectroscopic data, to compute and model the monopole and quadrupole correlation functions, and to test the developed methods on existing ground-based weak-lensing data.

Full description

Weak gravitational lensing, the distortion of the images of high-redshift galaxies due to foreground matter structures on large scales, is one of the most promising tools of cosmology to probe the dark sector of the Universe. The statistical analysis of lensing distortions can measure the dark-matter distribution on large scales, constrain the properties of dark matter and dark energy, and limit models of modified gravity.

The upcoming surveys Euclid, Rubin/LSST, and the Roman space telescope will measure cosmological parameters to unprecedented accuracy. To achieve this ambitious goal, a number of systematic behaviours have to be properly understood. One key challenge is a detailed understanding of intrinsic galaxy alignment. This systematic effect stems from the coherent deformation of galaxies by the tidal fields in which they form and evolve. Intrinsic alignment can produce correlations that are degenerate with those coming from the lensing of the light profile and, therefore, might bias the cosmological parameter estimation if not properly accounted for during the analysis phase.

The goal of this M2 stage is to obtain a direct measurement of intrinsic galaxy alignment using the combination of lensing and spectroscopic data. The student will build a pipeline that computes and models the monopole and quadrupole correlation functions, inspired by methods used for galaxy clustering. The codes developed in this internship will be tested on existing ground-based weak-lensing data available in the CosmoStat lab.

Today, different models exist to describe the contribution of intrinsic alignment in a weak-lensing analysis. To understand which of these models offers the most accurate prediction, one needs to directly measure intrinsic-alignment properties. This is achieved by correlating galaxies whose distances are very precisely known from spectroscopic data.

We will use weak-lensing data from UNIONS, the Ultra-violet Near-Infrared Northern Survey, and spectroscopic data from BOSS and eBOSS (SDSS-III's [extended] Baryon Oscillation Spectroscopic Survey), and DESI (Dark-Energy Spectroscopic Instrument).

The student will develop the pipeline for measurement using the monopole and quadrupole components of the intrinsic-alignment correlation functions. They will apply the pipeline on data and constrain intrinsic-alignment models using data available in our group.

Keywords

cosmology, weak gravitational lensing, galaxy formation

Skills

modelling, statistical analysis

Softwares

python



Étude de la photochimie des exoplanètes semblables à Mars

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DAP/LDE3](#)

Candidature avant le 01/06/2024

Durée 5 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [GARCIA MUÑOZ Antonio](#)
+33 1 69
antonio.garciamunoz@cea.fr

Résumé

Le projet étudiera la photochimie des atmosphères de CO₂ dans des conditions correspondant à celles attendues sur certaines exoplanètes. Les résultats seront replacés dans le contexte des observations actuelles et futures des atmosphères d'exoplanètes.

Sujet détaillé

Parmi les plus de 5 000 exoplanètes actuellement connues, celles dont la taille est comprise entre 1 et 4 rayons terrestres sont les plus abondantes. De telles planètes sont absentes de notre système solaire et leurs propriétés fondamentales (origine, évolution, structure interne, etc.) restent incertaines. Certaines de ces planètes pourraient avoir des atmosphères dominées par H₂/He, mais d'autres pourraient avoir des atmosphères riches en molécules lourdes comme par exemple H₂O et CO₂. Le projet actuel propose d'étudier la photochimie des atmosphères dominées par le CO₂ soumises à l'irradiation d'étoiles de types M, K et G (étoiles hôtes préférentielles pour un certain nombre de programmes d'observation en cours). L'étude utilisera un modèle photochimique existant développé pour les conditions martiennes et qui traite l'ensemble de la transition de l'atmosphère neutre à l'ionosphère. L'étudiant adaptera le modèle photochimique à des conditions plus générales (en particulier le partage CO₂-H₂O-H₂), et évaluera la façon dont les différents spectres stellaires affectent la composition chimique des atmosphères. Les conclusions de cette étude théorique seront liées aux découvertes faites par le JWST et aux observations futures avec des télescopes tels que l'E-ELT.

Mots clés

photochimie, atmosphère, exoplanètes, modélisation numérique

Compétences

modélisation numérique, cinétique chimique

Logiciels

fortran, IDL, python

Investigating the photochemistry of Mars-like exoplanets

Summary

The project will investigate the photochemistry of CO₂-atmospheres under conditions relevant to those expected at some exoplanets. The findings will be put in the context of existent and future observations of exoplanet atmospheres.

Full description

Of the more than 5,000 exoplanets that are currently known those that have sizes between 1 and 4 Earth radii are the most abundant. Such planets are absent in our Solar system and their fundamental properties (origin, evolution, internal structure, etc.) remain uncertain. Some of these planets might have H₂/He-dominated atmospheres, but others might have atmospheres that are rich in heavy molecules such as for example H₂O and CO₂. The current project proposes to investigate the photochemistry of CO₂-dominated atmospheres subject to the irradiation from stars of M, K and G types (preferential host stars for a number of ongoing observing programs). The investigation will utilize an existent photochemical model developed for Martian conditions and that handles the entire transition from the neutral atmosphere to the ionosphere. The student will adapt the photochemical model to more general conditions (in particular the CO₂-H₂O-H₂ partitioning), and will assess the ways in which different stellar spectra affect the chemical composition of the atmospheres. The conclusions from this theoretical investigation will be related to the discoveries that the JWST is making and to future observations with telescopes such as the E-ELT.

Keywords

photochemistry, atmosphere, exoplanets, numerical modelling

Skills

numerical modelling, chemical kinetics

Softwares

fortran, IDL, python



Emulateur de Cartes de matière noire

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DAP/LCS](#)

Candidature avant le 29/02/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [STARCK Jean-luc](#)
+33 1 69 08 57 64
jean-luc.starck@cea.fr

Autre lien <http://jstarck.cosmostat.org>

Résumé

Le satellite Euclid sera capable de cartographier des structures à grande échelle et de faibles distorsions de lentille jusqu'à des redshifts élevés. L'effet de lentille gravitationnelle faible est considérée comme l'un des outils cosmologiques les plus prometteurs pour contraindre les modèles. Dans ce projet, nous développerons un émulateur de carte de lentille faible, de telle sorte que nous disposerons non seulement d'un émulateur avec les statistiques à 2 points correctes, mais également d'un émulateur avec les moments d'ordre supérieur corrects.

Sujet détaillé

Le satellite Euclid, lancé en 2023, observera le ciel en optique et infrarouge, et sera capable de cartographier des structures à grande échelle et de faibles distorsions de lentille jusqu'à des redshifts élevés. L'effet de lentille gravitationnelle faible est considérée comme l'un des outils cosmologiques les plus prometteurs pour contraindre les modèles. Une lentille faible sonde l'évolution des structures de matière noire et peut aider à distinguer l'énergie noire des modèles de gravité modifiée. Grâce aux mesures de cisaillement, nous pourrions reconstruire une carte de masse de matière noire de 15 000 degrés carrés. La cartographie de masse implique la construction de cartes bidimensionnelles utilisant des mesures de forme de galaxie, qui représentent la densité totale de matière intégrée le long de la ligne de visée. Les cartes de masse à petit champ ont été fréquemment utilisées pour étudier la structure et la distribution de masse des amas de galaxies, tandis que les cartes à grand champ ne sont devenues possibles que plus récemment, compte tenu des vastes stratégies d'observation d'enquêtes telles que CFHTLenS, HSC, DES et KiDS. Les cartes de masse contiennent des informations cosmologiques non gaussiennes significatives et peuvent être utilisées pour identifier des amas massifs ainsi que pour établir une corrélation croisée entre le signal de lentille et les structures de premier plan.

Les méthodes actuelles de cartes de convergence à lentille faible utilisent la statistique à deux points, ce qui est limitant car elle ne sonde pas les non-gaussianités présentes dans les cartes. Une autre méthode employée pour briser les dégénérescences et avoir une meilleure contrainte des paramètres est la statistique d'ordre supérieur. Il a été montré dans [1] que les statistiques de la norme l_1 sont plus puissantes que les statistiques de spectre de

puissance et de comptage de pics et de vides combinés. Plus récemment, il a été montré dans [2] que nous pouvons avoir une prédiction théorique pour la fonction de distribution de probabilité en un point pour les cartes de densité. Ce travail a été étendu pour avoir une prédiction théorique pour la norme l1. Le but de ce projet est d'abord de vérifier son régime de validité, puis de l'appliquer pour construire un émulateur de carte à lentille faible.

Contexte:

La méthode standard d'utilisation des statistiques d'ordre supérieur repose sur des simulations pour les obtenir, puis les utilise pour effectuer une analyse de vraisemblance/MCMC afin d'obtenir les contraintes. Mais cela nécessite beaucoup de ressources. Une alternative consiste à utiliser un émulateur qui réduit considérablement l'utilisation des ressources informatiques. Il existe plusieurs émulateurs pour les cartes à lentille faible, par exemple. FLASK[3], GLASS [4], mais ils sont encore limités en précision. Ils ont le spectre de puissance correct mais n'obéissent pas aux moments d'ordre supérieur corrects. Avoir un émulateur avec les cartes correctes améliorera considérablement l'analyse, et il va sans dire que cela modifiera également les méthodes traditionnelles qui reposent sur des simulations complètes à N corps.

Objectifs:

Ce projet explorera l'application de l'applicabilité et les limites de la prédiction actuelle de la norme l1, puis l'utilisera pour mettre en place un émulateur de carte de telle sorte que nous ayons désormais non seulement un émulateur avec les statistiques à 2 points correctes, mais également un émulateur avec les moments d'ordre supérieur corrects, de sorte que nous obtenions une distribution de probabilité en un point et une norme l1 correctes.

Résultats attendus:

Nous nous attendons à une percée dans le domaine de l'utilisation de statistiques d'ordre élevé dans les analyses de lentilles faibles. À la fin du projet, nous espérons disposer d'un outil robuste, précis et également évolutif pour produire des cartes de convergence de lentilles faibles.

Profil du candidat:

Étudiant en école d'ingénieur ou en Master. Connaissances avancées en statistiques et signal traitement. La programmation en Python et des connaissances en optimisation et Machine Learning sont un plus.

Mots clés

Machine learning, cosmologie

Compétences

Python

Logiciels

Python

Convergence Mass Map Emulator

Summary

The Euclid satellite will be able to map large scale structures and weak lensing distortions out to high redshifts. Weak gravitational lensing is thought to be one of the most promising tools of cosmology to constrain models. In this project, we will develop a weak lensing map emulator, such that we will not only have an emulator with the correct 2-point statistics but also an emulator with the correct higher order moments.

Full description

The Euclid satellite, launched in 2023, will observe the sky in the optical and infrared, and will be able to map large scale structures and weak lensing distortions out to high redshifts. Weak gravitational lensing is thought to be one of the most promising tools of cosmology to constrain models. Weak lensing probes the evolution of dark-matter structures and can help distinguish between dark energy and models of modified gravity. Thanks to the shear measurements, we will be able to reconstruct a dark matter mass map of 15000 square degrees. Mass mapping entails the construction of two-dimensional maps using galaxy shape measurements, which represent the integrated total matter density along the line of sight. Small- field mass maps have been frequently used to study the structure and mass distribution of galaxy clusters, whereas wide- field maps have only more recently become possible given the broad observing strategies of surveys like CFHTLenS, HSC, DES, and KiDS. Mass maps contain significant non-Gaussian cosmological information and can be used to identify massive clusters as well as to cross-correlate the lensing signal with foreground structures.

The current methods of weak lensing convergence maps use the two point statistics which is limiting as it does not probe the non-Gaussianities present in the maps. Another method employed to break the degeneracies and to have a better constraints of the parameters is the higher order statistics. It was shown in [1] that the l1-norm statistics is more powerful than power spectrum and peak and void statistics combined. More recently it was shown in [2] that we can now have a theoretical prediction for the one-point Probability Distribution Function for the density maps. This work has been extended to have a theoretical prediction for the l1-norm. The goal of this project is to first verify its validity regime and then apply this to build a weak lensing map emulator.

Context:

Standard method of using the higher order statistics relies on simulations to obtain them and then use them to perform likelihood/MCMC analysis to obtain the constraints. But, this is highly resource intensive. An alternative to this is to use an emulator which drastically cuts down on the use of computational resources. There are several emulators for the weak lensing maps ex. FLASK[3], GLASS [4], but they are still limited in precision. They have the correct power spectrum but does not obey the correct higher order moments. Having an emulator with the correct maps will significantly improve the analysis, needless to say will also change the traditional methods which relies on full N-body simulations.

Goals:

This project will explore the application of the applicability and the limitations of the current l1-norm prediction and then use that to have a map emulator in place such that we now not only have an emulator with the correct 2-point statistics but also an emulator with the correct higher order moments, so that we get correct one-point Probability distribution and l1-norm.

Expected Results:

We expect breakthrough in the field of using high-order statistics in weak lensing analyses. At the end of the project, we expect to have a tool in place that is robust, accurate and also scalable to produce weak lensing convergence maps.

Candidate Profile:

Engineering school or Masters student. Advanced knowledge in statistics and signal processing. Programming in Python and knowledge in optimisation and Machine Learning are a plus.

Deadline for Application: 28/02/2024 References

1. Ajani, V., Starck, J. L., & Pettorino, V. (2021). Starlet l1-norm for weak lensing cosmology. *Astronomy & Astrophysics*, 645, L11.
2. Barthelemy, A., Codis, S., & Bernardeau, F. (2021). Probability distribution function of the aperture mass field with large deviation theory. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 503(4), 5204-5222.
3. Xavier, H. S.,

Abdalla, F. B., & Joachimi, B. (2016). Improving lognormal models for cosmological fields. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 459(4), 3693-3710.

4. Tessore, N., Loureiro, A., Joachimi, B., & von Wietersheim-Kramsta, M. (2023). GLASS: Generator for Large Scale Structure. arXiv preprint arXiv:2302.01942.

Keywords

Machine learning, cosmology

Skills

Python

Softwares

Python



Modélisation des interactions magnétiques étoile-planète pour des orbites inclinées

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DAP/LDE3](#)

Candidature avant le 29/05/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [STRUGAREK Antoine](#)

+33 1 69 08 30 18

antoine.strugarek@cea.fr

Résumé

Les exoplanètes en orbite compacte interagissent avec leur milieu le long de leur orbite et se connectent magnétiquement à leur étoile hôte. Cette connection laisse une trace visible dans l'atmosphère de l'étoile et a notamment été détectée pour 4 exosystèmes par Cauley et al. (2019). Le but du stage est de caractériser, dans le contexte de l'étude des systèmes exoplanétaires (futures missions ESA PLATO, ARIEL, et instruments sol tels que SKA), la façon dont ces exoplanètes se connectent magnétiquement à leur étoile hôte. Le cas d'une planète en orbite circulaire et dont le plan orbital est perpendiculaire à l'axe de rotation de l'étoile a déjà été largement caractérisé via la simulation numérique 3D (Strugarek 2016). Pour ce stage, nous étendrons cette étude ab-initio pionnière au cas des planètes en orbite inclinée par rapport à l'axe de rotation de l'étoile.

Sujet détaillé

Le but du stage est d'explorer, dans le contexte de l'étude des systèmes exoplanétaires (futures missions PLATO, ARIEL, et instruments sol tels que SKA) la façon dont des exoplanètes en orbite compacte interagissent avec leur milieu le long de leur orbite et se connectent magnétiquement à leur étoile hôte. Cette connection magnétique a notamment été détectée pour 4 systèmes compacts par Cauley et al. (2019). Du point de vue de notre compréhension, le cas d'une planète en orbite circulaire et dont le plan orbital est perpendiculaire à l'axe de rotation de l'étoile a déjà été largement caractérisé par la théorie semi-analytique (Saur et al. 2013) et par la simulation numérique 3D ab-initio (e.g. Strugarek 2016). Pour ce stage, nous étendrons ces études pionnières au cas des planètes en orbite inclinée par rapport à l'axe de rotation de l'étoile.

On s'attend en effet à ce que cette inclinaison module fortement la connectivité magnétique de la planète à l'étoile le long de l'orbite, et ainsi affecte tout signal pouvant provenir de l'existence de cette connectivité magnétique. Par exemple, le relatif alignement de l'orbite d'une planète est une caractéristique majeure pour la possible détection à distance de cette interaction en radio (e.g. Kavanagh & Vedantham 2023). De plus, la détection d'un tel signal pourrait permettre de mieux caractériser les planètes en orbite 'pole-on' pour les nombreux systèmes observés par Kepler dont l'axe de rotation de l'étoile est perpendiculaire à notre angle de visée mais dont les planètes ne transient pas.

Afin de mieux comprendre ces systèmes, nous allons utiliser le modèle 3D global d'interaction magnétique étoile-planète (Strugarek et al. 2015) afin de permettre de traiter une planète en orbite inclinée. Pour faire cela, le système étoile-planète sera toujours considéré centré sur l'étoile et dans le repère Keplerien tournant avec la planète (la planète est donc fixe dans la grille), mais nous laissons libre l'axe de rotation de l'étoile par rapport à la grille du modèle, simulant ainsi une orbite inclinée quelconque. Le travail à effectuer lors du stage sera donc décomposé en plusieurs parties:

Développement (~1 mois): changer l'axe de rotation de l'étoile centrale dans le modèle numérique 3D basé sur le code open-source PLUTO

Calcul numérique (~2 mois): étude paramétrique pour une distance orbitale et différents angles d'inclinaison afin de caractériser:

(i) les points de connection magnétique de l'interaction dans l'atmosphère de l'étoile et ainsi le signal temporel attendu pour l'observateur

(ii) la modulation de l'amplitude de la connection magnétique (appelée 'aile d'Alfvén')

(iii) l'influence de l'inclinaison sur le couple magnétique ressenti par la planète et la faisant migrer sur des temps séculaires (voir Ahuir et al. 2021).

Rédaction (~ 1 mois): Ecriture du rapport et squelette d'article scientifique pour présenter les résultats

Les conclusions de ce travail contribueront à une compréhension plus exhaustive des interactions magnétiques étoile-planète. Le sujet de ce stage, fortement relié au domaine très actif des exoplanètes, offre ainsi au stagiaire une excellente perspective scientifique pour poursuivre ensuite en thèse. Il est de plus lié au projet ERC ExoMagnets qui débutera le 1er juin 2024. Le/la stagiaire sera entouré par une équipe d'experts en physique stellaire et exoplanétaire (A. Strugarek, A.S. Brun, S. Mathis, R. Garcia, A. Garcia-Muñoz).

Mots clés

Compétences

Logiciels

Summary

Full description

Keywords

Skills

Softwares



Mesurer de la rotation des étoiles à partir des données de TESS, Kepler et Gaia.

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DAP/LDE3](#)

Candidature avant le 01/03/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [GARCIA Rafael A.](#)

+33 1 69 08 27 25

rafael.garcia@cea.fr

Résumé

La mesure de la vitesse de rotation des étoiles appartenant à des amas est aujourd'hui la meilleure façon de calibrer les relations âge-rotation, qui sont extrêmement utiles en astrophysique pour estimer l'âge des étoiles et de leur cortège de planètes. Ce stage a pour but de mesurer la rotation de surface d'étoiles appartenant à des amas ouverts en utilisant les données des satellites Gaia, Kepler et TESS, et de calibrer les relations âge-rotation à partir de modèles numériques paramétriques.

Sujet détaillé

La mesure de la vitesse de rotation des étoiles appartenant à des amas est aujourd'hui la meilleure façon de calibrer les relations âge-rotation, qui sont extrêmement utiles en astrophysique pour estimer l'âge des étoiles et de leur cortège de planètes. Ce stage a pour but de mesurer la rotation de surface d'étoiles appartenant à des amas ouverts en utilisant les données des satellites Gaia, Kepler et TESS, et de calibrer les relations âge-rotation à partir de modèles numériques paramétriques.

Les amas nous fournissent un laboratoire unique pour étudier une population d'étoiles avec des propriétés similaires, telles que l'âge et la composition chimique des étoiles. Il a été montré que la période de rotation des étoiles évolue avec l'âge en suivant des lois empiriques. Cette méthode de datation qui peut être extrêmement utile est connue sous le nom de gyrochronologie. Estimer les périodes de rotation des étoiles dans les amas (donc avec un âge donné) permet donc de calibrer ces relations en fonction des propriétés des étoiles comme leur masse ou leur composition.

Les amas ouverts peuvent être vus comme une photographie d'une population stellaire, et donc d'une distribution de période de rotation, à un âge donné. Les observations photométriques obtenues par les missions TESS et Kepler permettent d'étudier en détail plusieurs amas d'âges similaires. Cependant, la complexité du problème vient de la réduction et de l'analyse des données, en particulier la qualité des données n'est pas homogène et la sélection de l'algorithme approprié pour l'analyse peut représenter un certain défi. Le/la stagiaire aura également l'opportunité de développer un outil numérique pour simuler l'évolution de la rotation d'une étoile qu'il/elle pourront ensuite comparer aux données et raffiner en fonction.

Le stage est conçu pour introduire la physique de la rotation des étoiles et de leur évolution au sein d'amas. Il est

également dédié à l'exploration de différentes techniques d'analyse et de traitement du signal pour améliorer la qualité des données et des algorithmes permettant de mesurer la période de rotation des étoiles au sein d'amas. Le/la stagiaire utilisera les données des satellites Gaia, Kepler et TESS. Une comparaison des propriétés des différents jeux de données sera également faite. Finalement, l'étudiant(e) participera aux tests des pipelines développés dans le cadre de la mission PLATO (PLANetary Transit and Oscillations of stars) pour estimer la rotation des étoiles.

Le stage aura lieu au département d'astrophysique (DAp) du CEA Saclay (Ormes des Merisiers, Gif-Sur-Yvette, Essonne), au sein du laboratoire LDE3 (Laboratoire Dynamique des Etoiles, des Exoplanètes et de leur Environnement). L'étudiant(e) travaillera sous la supervision des Drs Rafael A. Garcia et Dinil Bose Palakkatharappil et avec les autres membres du LDE3.

Les résultats obtenus seront présentés dans un poster dans le cadre d'une conférence à venir durant l'été. L'étudiant(e) aura l'opportunité de participer activement aux discussions scientifiques avec le groupe. Finalement, l'étudiant(e) pourra présenter son travail et contribuer aux discussions sur des articles récemment publiés dans le cadre d'une réunion toutes les deux semaines.

Mots clés

Analyse de données, méthode numériques, domaine de Fourier, data mining

Compétences

Logiciels

python

Measuring stellar rotation from TESS, Kepler and Gaia data.

Summary

Measuring the rotating rates of stars in clusters provides an excellent opportunity to calibrate age-rotation periods relations. Those are extremely useful in astrophysics to accurately estimate the age of stars and their planetary systems. The internship aims to measure the surface rotation of stars in various open clusters using Gaia, Kepler and TESS observations, and to refine existing age-rotation periods relations using numerical tools.

Full description

Clusters provide a unique laboratory to study stars with similar properties, such as age and composition, simultaneously. It has been shown that the stellar rotation period evolves with age following an empirical law, this age dating method which can be extremely useful is known as gyrochronology. Measuring the rotation rates of stars in clusters (thus with known ages) provides an excellent opportunity for calibrating these relations as a function of the stellar properties such as their mass or composition. The individual open clusters can be represented as snapshots of stellar rotation at a specific age, but this holds only if we compare the rotation distribution of a cluster with other clusters of similar ages. The observations from the TESS and Kepler missions present an opportunity to study multiple clusters of similar ages in detail. However, the complexity lies in dealing with the quality of the data, and the selection of appropriate algorithms for analysis presents significant challenges.

In addition, the intern will have the opportunity to develop a simple parametric numerical model to simulate the evolution of the stellar rotation rate. They will then be able to compare with the data they obtained and refine their model accordingly.

This internship is meant to introduce the physics of the rotation of stars and their evolution in clusters. It is also dedicated to explore different data analysis techniques to improve the quality of data and the algorithms to measure the rotation period of stars in clusters. The intern will use data from Gaia, Kepler and TESS. A comparison of the properties of the different dataset will also be done. The student will also participate in testing the rotation pipelines developed for PLATO (The Planetary Transits and Oscillations of stars) Stellar Analysis System.

The internship will take place at the Astrophysics division (DAp) of the CEA Saclay (Orme des Merisiers, Gif-sur-Yvette, Essonne), among the Dynamics of Stars, (Exo)planets and their Environments Laboratory (LDE3). The student will work under the supervision of Dr. Rafael A. García (LDE3, CEA Saclay), Dr. Dinil Bose Palakkatharappil (LDE3, CEA Saclay) and other members of the LDE3.

The obtained results will be presented as a poster in one of the upcoming conferences. The student will have the opportunity to actively participate in scientific discussions with the group. Additionally, the intern will present his/her work and also contribute to scientific discussions on recently published papers through a biweekly meeting with the group.

Keywords

Solar and stellar physics, stellar dynamics, data analysis, star clusters

Skills

Softwares

python



Simulations 3D du vent solaire pour les prévisions en météorologie de l'espace

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DAP/LDE3](#)

Candidature avant le 05/06/2024

Durée 5 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [Perri Barbara](#)
+33 1 69 08 76 60
barbara.perri@cea.fr

Résumé

Le but de ce stage est d'obtenir un modèle de prévision du vent solaire à la fois réaliste et rapide. Pour cela, il s'agira de développer une version opérationnelle du code Wind Predict-AW, en combinant différents modèles d'accélération du vent solaire. Via une étude paramétrique de simulations numériques, il sera alors possible de quantifier les performances de ce nouveau modèle et de le comparer à des observations à la Terre.

Sujet détaillé

La météorologie de l'espace a pour ambition de comprendre les événements les plus extrêmes du Soleil afin d'anticiper leur impact sur la Terre. Depuis l'événement de Carrington en 1859 qui avait surchargé les réseaux de télégraphes partout dans le monde, notre société est devenue encore plus technologique, et les conséquences de tels événements se font désormais ressentir sur les satellites, les communications, les réseaux électriques et même la santé humaine.

Néanmoins, prédire la trajectoire de ces événements (et donc leur capacité à impacter ou non la Terre) est un défi complexe qui implique d'être capable de caractériser avec précision le milieu interplanétaire entre le Soleil et la Terre. L'un des éléments les plus critiques à cartographier est alors le vent solaire, un éjecta continu de particules de l'atmosphère solaire qui vient moduler le milieu interplanétaire. Depuis les observations du satellite Ulysses (McComas et al. 2005), on sait qu'il existe plusieurs familles de vent solaire, dont du vent lent (400 km/s) et du vent rapide (800 km/s), qui peuvent donc ralentir, accélérer ou dévier les événements transients.

Pour anticiper correctement les flots de vent solaire, on peut donc se tourner vers la simulation numérique. Prenant en entrée des observations du Soleil, différents modèles sont alors capables de donner une solution en réalisant des approximations sur les processus physiques dans l'atmosphère du Soleil qui sont à l'origine de l'accélération du vent. Le problème est que les modèles actuels sont partagés entre des modèles très réalistes mais trop lents pour être opérationnels (comme le modèle Wind Predict-AW, cf. Réville et al. 2022), et des modèles plus rapides mais avec des approximations plus empiriques qui demandent beaucoup d'ajustements manuels (comme le WSA, cf. Arge et Pizzo 2000).

Le but de ce stage est donc de développer une version opérationnelle du code Wind Predict-AW, permettant d'obtenir une distribution bimodale vent lent/vent rapide réaliste, tout en étant capable de fournir une prévision en moins de 24 heures. Pour cela, on se basera sur l'approximation principale du modèle Wind Predict-AW qui est le chauffage par ondes d'Alfvén, et on implémentera cette mécanique dans la version plus simplifiée du modèle appelée Wind Predict (Réville et al. 2017, Perri et al. 2018). Le code utilisé sera le code PLUTO (Mignone et al. 2007), un code open-source multi-physique écrit en C. Les analyses seront réalisées en Python.

Le travail de ce stage sera donc de réaliser différentes combinaisons entre les modules de Wind Predict et Wind Predict-AW afin de parvenir à retrouver la distribution bimodale du vent solaire dans des temps opérationnels. Ceci se fera via la construction d'une fonction de chauffage ad-hoc en combinant chauffage polytropique et par ondes d'Alfvén (plus éventuellement d'autres termes à implémenter si besoin). Il conviendra également de réaliser des études paramétriques afin de vérifier que le nouveau modèle puisse fonctionner pour toutes les phases du cycle solaire (minimum comme maximum). On validera également les résultats sur des événements réels (flots de vent rapides mesurés à la Terre). L'étudiant devra enfin analyser les tendances du modèle pour vérifier que les propriétés physiques de la couronne solaire sont globalement bien reproduites, et pour dériver des lois empiriques permettant de calibrer le modèle.

En conclusion, ce stage offre une approche très complémentaire de l'étude du vent solaire, avec des simulations numériques, des observations et de la théorie de la physique des plasmas. Il sera réalisé au sein de l'équipe du LDE3 à l'AIM, sous l'encadrement du Dr. Barbara Perri, du Dr. Allan Sacha Brun et du Dr. Antoine Strugarek. Ce sujet de stage pourra déboucher sur une thèse financée portant sur le développement d'un nouveau modèle de prévision de vent solaire basé sur de l'assimilation de données pour le prochain maximum d'activité.

Mots clés

Météorologie de l'espace, vent solaire, simulations numériques, magnétohydrodynamique

Compétences

Physique des plasmas Simulations numériques Analyse et traitement de jeux de données

Logiciels

C Python

3D simulations of the solar wind for space weather forecasting

Summary

The aim of this internship is to obtain a realistic and fast solar wind forecasting model. This will involve developing an operational version of the Wind Predict-AW code, combining different solar wind acceleration models. Through a parametric study of numerical simulations, it will then be possible to quantify the performance of this new model and compare it with observations on Earth.

Full description

Space weather aims to understand the Sun's most extreme events in order to anticipate their impact on Earth. Since the Carrington event in 1859, which overloaded telegraph networks around the world, our society has become even more technological, and the consequences of such events are now felt on satellites, communications, power grids and even human health.

Nevertheless, predicting the trajectory of such events (and therefore their ability to impact the Earth or not) is a complex challenge that involves being able to accurately characterize the interplanetary medium between the Sun and the Earth. One of the most critical elements to map is the solar wind, a continuous ejecta of particles from the solar atmosphere that modulates the interplanetary medium. Since observations by the Ulysses satellite (McComas et al. 2005), we know that there are several families of solar wind, including slow (400 km/s) and fast (800 km/s) winds, which can slow down, speed up or deflect transient events.

To correctly anticipate solar wind flows, we can therefore turn to numerical simulation. Taking observations of the Sun as input, various models are then able to provide a solution by approximating the physical processes in the Sun's atmosphere that are responsible for wind acceleration. The problem is that current models are divided between those that are very realistic but too slow to be operational (such as Wind Predict-AW, cf. Réville et al. 2022), and those that are faster but with more empirical approximations that require a lot of manual adjustments (such as WSA, cf. Arge and Pizzo 2000).

The aim of this internship is therefore to develop an operational version of the Wind Predict-AW code, making it possible to obtain a realistic bimodal slow wind/fast wind distribution, while being able to provide a forecast in less than 24 hours. To achieve this, we will rely on the main approximation of the Wind Predict-AW model, which is Alfvén wave heating, and implement this mechanics in the more simplified version of the model called Wind Predict (Réville et al. 2017, Perri et al. 2018). The code used will be PLUTO (Mignone et al. 2007), an open-source multi-physics code written in C. Analyses will be performed in Python.

The task of this internship will therefore be to carry out various combinations between the Wind Predict and Wind Predict-AW modules in order to recover the bimodal distribution of the solar wind in operational times. This will be achieved by constructing an ad-hoc heating function combining polytropic and Alfvén wave heating (plus other terms to be implemented if required). Parametric studies will also be carried out to check that the new model can work for all phases of the solar cycle (minimum and maximum). The results will also be validated on real events (fast wind flows measured at Earth). Finally, the student will be asked to analyze the model's trends to check that the physical properties of the solar corona are globally well reproduced, and to derive empirical laws to calibrate the model.

In conclusion, this internship offers a highly complementary approach to the study of the solar wind, involving numerical simulations, observations and plasma physics theory. It will be carried out within the LDE3 team at AIM, under the supervision of Dr. Barbara Perri, Dr. Allan Sacha Brun and Dr. Antoine Strugarek. This internship may lead to a funded thesis on the development of a new data assimilation-based solar wind forecasting model for the next maximum activity.

Keywords

Space weather, solar wind, simulations, MHD

Skills

Plasma physics Simulations Big data Data analysis

Softwares

C Python