

De nouvelles limites sur les premiers instants de l'Univers

Une nouvelle analyse des données du satellite Planck donne des contraintes sur l'état de l'Univers dans les tous premiers instants après sa création. Il n'y a aucune indication dans les observations du ciel de motifs particuliers révélateurs de l'existence d'ondes gravitationnelles primordiales, des ondulations de l'espace-temps générées pendant l'inflation cosmique. Nous savons maintenant que les ondes gravitationnelles ne peuvent contribuer qu'au plus à 4 % des variations de température mesurées par Planck. Bien que cela n'exclut en aucun cas l'idée d'inflation cosmique, nous savons que les preuves pour sonder l'Univers en ces temps ultra-précoces seront encore plus difficiles à trouver.

Comment l'Univers a vu le jour, et comment il a évolué d'une condition uniforme vers un état contenant les galaxies et autres structures d'aujourd'hui, sont des sujets d'activité intense parmi les physiciens. Les observations suggèrent l'existence d'une phase d'expansion accélérée (appelée « inflation ») pendant les tous premiers instants de l'histoire cosmique. Dans ce modèle, toutes les structures de l'Univers sont issues des premières variations de densité causées par la nature intrinsèquement probabiliste de la mécanique quantique. Si cette image est correcte, alors il y a un lien profond entre l'infiniment grand et l'infiniment petit, et l'espoir que nous pourrions un jour relier les théories cosmologique et subatomique. Cependant, les preuves de cette théorie restent jusqu'à présent insaisissables.

La piste la plus prometteuse réside dans l'étude détaillée du fond diffus cosmologique micro-ondes (ou CMB), une lueur provenant de l'Univers primordial qui peut être détectée avec des instruments observant le ciel aux mêmes longueurs d'onde que celles qui fonctionnent dans les fours micro-ondes (mais incroyablement plus faibles en amplitude). En particulier, le CMB est légèrement polarisé, variant légèrement à travers différents polariseurs, tout comme une scène terrestre semble différente à travers des lunettes de soleil polarisées lorsque les lunettes sont tournées. Si cette polarisation du CMB contient un motif tourbillonnant alors ce serait la preuve que des ondes gravitationnelles sont produites dans les premiers instants de l'Univers.

En 2014, il y a eu une énorme excitation quand une équipe utilisant une expérience basée près du pôle Sud, appelée BICEP, avait détecté ce modèle de tourbillons dans la polarisation CMB. Cependant, des vérifications utilisant les données du satellite Planck de l'Agence spatiale européenne ont montré que les signaux détectés ne provenaient pas de l'Univers primordial, mais de l'émission polarisée de la poussière de notre Voie lactée. Cette nouvelle analyse des données de Planck a abouti à des images du ciel qui permettent de nettoyer plus soigneusement ces signaux parasites, permettant ainsi de placer des nouvelles limites plus strictes sur l'amplitude du signal d'onde gravitationnelle primordiale.

L'analyse a été réalisée par une équipe dirigée par Matthieu Tristram (Équipe CMB, pôle A2C) de IJCLab et qui comprend d'autres scientifiques de France, ainsi que des États-Unis, du Canada, de Norvège et d'Espagne. Leur résultat, basé sur les données du satellite Planck, montre que les ondes gravitationnelles ne peuvent pas contribuer à plus de 6 % des signaux CMB détectés. Lorsqu'elle est

combinée avec les données de l'expérience BICEP, la limite conjointe est réduite à 4 %. Cela met une limite directe sur l'échelle d'énergie de la physique qui peut avoir généré une inflation cosmique. D'autres recherches sont en cours pour essayer de détecter ce signal de polarisation à des niveaux encore plus faibles. Ces nouveaux résultats soulignent à quel point la tâche qui nous attend est exigeante.

La publication "Planck constraints on the tensor-to-scalar ratio" a été soumise au journal Astronomy & Astrophysics et est disponible ici : <https://arxiv.org/abs/2010.01139>.

October 2020

New limits on the Universe at the earliest times

A new analysis of data from the Planck satellite has put constraints on the state of the Universe in the first trillionth of a trillionth of a second after its creation. There is no indication of the swirly patterns on the sky that would be a tell-tale sign of primordial gravitational waves, ripples in the fabric of space-time that emerge from an early epoch of cosmic inflation. We now know that gravitational waves can contribute no more than about 4% of the signals seen as variations in temperature measured by Planck at microwave wavelengths. While this by no means rules out the idea of cosmic inflation, it means that we know that evidence needed to probe the Universe at these ultra-early times is going to be even harder to find.

How the Universe came into existence, and how it evolved from a uniform condition to contain today's galaxies and other structures, are topics of intense activity among physicists. Observations suggest the existence of a phase of accelerated expansion (called "inflation") during the very first moments of cosmic history. Within this picture, all the structures in the Universe grew from early variations in density that were caused by the intrinsically probabilistic nature of quantum mechanics. If this picture is correct, then there's a deep connection between the very large and the very small, and there is hope that we can one day connect our theories of cosmology and subatomic physics. However, proof of these ideas has been very elusive.

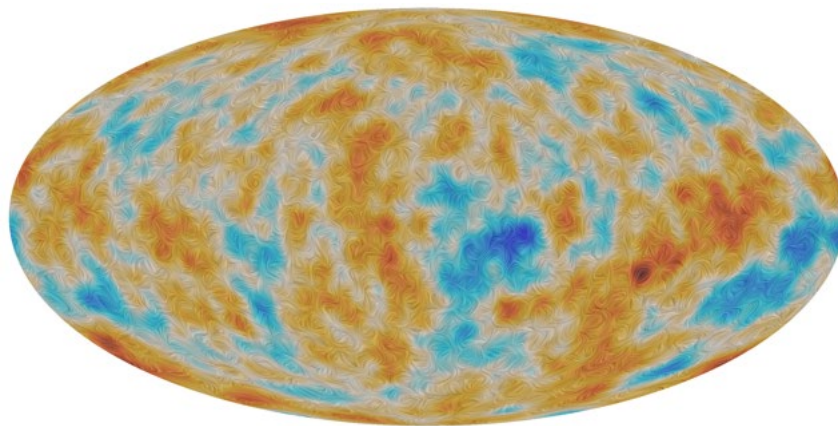
The most enticing path lies in detailed study of the cosmic microwave background (CMB), a glow coming from the early Universe that can be detected with sensitive instruments that observe the sky at the same kinds of wavelengths that operate in microwave ovens (but fantastically weaker in strength). In particular the CMB is slightly polarized, looking a little bit different through different polarizers, just as a terrestrial scene looks different through polarized sunglasses as the glasses are rotated. If this polarization of the CMB contains a swirly pattern that would be evidence for gravitational waves produced at the earliest times.



In 2014 there was huge excitement when it appeared that a team using an experiment based near the South Pole, called BICEP, had detected this pattern of swirls in CMB polarization. However, checks using data from the European Space Agency's Planck satellite showed that the detected signals did not come from the early Universe, but rather were due to polarized emission by dust in our Milky Way Galaxy, which had not been properly removed. Now this new analysis of Planck data has resulted in images of the sky that allow these intervening signals to be cleaned away more carefully, hence enabling new and tighter limits to be placed on the strength of any primordial gravitational wave signal.

The analysis was carried out by a team led by Dr. Matthieu Tristram (CMB Team, A2C Pole) of IJClab, including scientists from France, UK, Poland, Finland, U.S.A., Canada, Norway and Spain. Their result, based on Planck data, shows that the gravitational waves can contribute no more than 6% of the detected CMB signals. When combined with refined data from the BICEP experiment, the joint constraint is stronger still, at 4%. This puts a direct limit on the energy scale of the physics that may have generated cosmic inflation. Further searches are underway to try to detect this tell-tale polarization pattern at even weaker levels. These new results underscore how challenging the task is that lies ahead.

The paper "Planck constraints on the tensor-to-scalar ratio" has been submitted to the journal Astronomy & Astrophysics and can be found here: <https://arxiv.org/abs/2010.01139>.



© ESA and the Planck Collaboration

