# Débat sur les grands enjeux actuels de la cosmologie
# Observations

Ruth Durrer

Départment de Physique Théorique

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

## École de GIF 2026
## Grenoble

# Outline

Inflation

Histoire thermique de l'univers

Le fond diffus cosmologique (CMB)

Matière noire

Énergie sombre

...

# Inflation

Il est fascinant de constater que, selon notre modèle cosmologique actuel, les plus grandes structures de l'Univers sont issues de minuscules fluctuations quantiques, amplifiées lors d'une phase d'expansion ultra rapide.

# Inflation

- **Preuve :** L'existence d'une phase inflationnaire est-elle réellement "prouvée" ?
- **Arguments pour et contre :** Quels sont les arguments les plus solides en sa faveur ? Quelles sont les objections majeures ?
- **Alternatives :** Existe-t-il des modèles alternatifs crédibles ?
- **Ondes gravitationnelles primordiales :** L'absence de détection d'un fond d'ondes gravitationnelles primordiales pose-t-elle un problème pour le paradigme de l'inflation ?
- . . .

# Histoire thermique de l'univers

Nos premières informations proviennent de la nucléosynthèse primordiale (BBN) : à une température $T \simeq 1 - 0.01$ MeV, l'Univers est dominé par le rayonnement. Ce dernier est composé de photons (suivant une distribution de Planck) et de trois espèces de neutrinos extrêmement relativistes (distribution de Fermi-Dirac), à quelque 10 % près.

L'inflation, quant à elle, explique le spectre de fluctuations presque invariant d'échelle observé dans la température et la polarisation du fond diffus cosmologique (CMB).

# Histoire thermique de l'univers

- **Phase de radiation :** Entre le réchauffement (reheating) post-inflationnaire et la nucléosynthèse, l'Univers a-t-il toujours été dominé par le rayonnement ? Comment pourrions-nous tester cette hypothèse ?
- **Fond diffus de neutrinos :** Comment mesurer ou détecter le fond diffus de neutrinos produit à $T \simeq 1.4$ MeV ?
- **Réchauffement après l'inflation :** Comment détecter des traces ou obtenir des informations sur la phase de réchauffement ?
- **Observations sur l'univers primordial :** Existe-t-il des observations, en dehors de la nucléosynthèse, capables de nous renseigner sur l'histoire thermique de l'Univers entre l'inflation et la recombinaison ?
- . . .

# Le fond diffus cosmologique (CMB)

Le fond diffus cosmologique a été observé avec une précision remarquable, qu'il s'agisse de sa température, de ses fluctuations, de sa polarisation ou de son spectre énergétique. Ce n'est pas juste les données cosmologiques les plus précis mais aussi la théorie de ces fluctuations et polarisation est très bien comprise.

# Le fond diffus cosmologique (CMB)

- **Perspectives scientifiques :** Que pouvons-nous encore apprendre en améliorant les observation du CMB ?
- **Observations :** Quelles observations pouvons nous améliorer
- **Expériences futures :** Entre le déploiement d'un nouveau satellite dédié à la cartographie fine de la polarisation ou un instrument ciblant la précision absolue de son spectre énergétique, quelle approche s'avère la plus prometteuse pour la cosmologie moderne ?
- . . .

# Matière noire

La matière dans l'univers est dominée par une composante non-baryonique qui interagit très faiblement avec la matière ordinaire. Ceci est confirmé non seulement avec les courbes de rotation des galaxies et le mouvement des galaxies dans des amas, mais également par les fluctuations du CMB.

# Matière noire

- **WIMPs :** Les limites des recherches directes, excluent-ils le candidat des≪ *Weakly Interacting Massive Particles* ≫ (WIMPs) ?
- **Alternatives :** Quelles sont les alternatives les plus probables ?
- **Experiences :** Quelles sont les expériences en cours et futurs les plus pertinentes ?
- . . .

# Énergie sombre

D'après les mesures des distances des supernovae type 1a, l'univers traverse actuellement une phase d'expansion accélérée. Dans le cadre de la relativité générale ceci requiert une forte pression négative, $P < -\rho/3$. Une telle composante est également indispensable pour ajuster les données du CMB. L'exemple le plus simple reste une constante cosmologique qui est en bon accord avec beaucoup de données et qui a conduit au modèle standard de la cosmologie, le modèle ΛCDM.

# Énergie sombre

- **ΛCDM :** Les résultats des BAO fournis par DESI, combiné aux données du CMB et des supernovae, suffisent-ils à écarter le modèle standard, ΛCDM ?
- **Fantôme :** Comment expliquer une phase avec $w < -1$ ?
- **Gravité modifié :** Faut-il prendre au sérieux des modifications de la relativité générales ?
- **Quel modèle ?**
- . . .