

Thème : Quelques Modèles Au-delà Du Modèle Standard Et Le Problème De Baryogénèse Électrofaible.

Résumé

Pendant longtemps, les physiciens ont tenté d'expliquer les phénomènes cosmiques en posant la question suivante :

Notre univers a-t-il changé avec le temps? c'est-à-dire les principaux ingrédients de l'univers primordial sont-ils les mêmes que dans l'univers actuel ? La réponse à cette question majeure est liée à deux branches de la physique, la cosmologie et la physique des particules. Le modèle cosmologique le plus courant est le modèle de cosmologie standard du Big-Bang qui présuppose trois principes de base:

- 1) La validité du principe cosmologique qui dit que l'univers est homogène et isotrope et que les lois de la physique sont les mêmes en tous points.
- 2) Les lois de la physique sont invariantes dans le temps.
- 3) L'univers actuel est en expansion et il a été créé à un instant précis dans le passé par une immense explosion le Big Bang.

La théorie de Big Bang fournit des explications pour de nombreuses observations actuelles de notre univers telles l'abondance des éléments par la nucléosynthèse primordiale et prédit le rayonnement de fond cosmique (CMB), mais elle ne répond pas à la question de savoir pourquoi notre univers semble totalement dominé par la matière et contient très peu de baryons en comparaison au nombre de photons, la densité baryonique est de l'ordre de 10^{-10} , l'explication de la faible densité baryonique ou de comprendre l'origine de l'asymétrie baryonique est l'un des enjeux actuels de la cosmologie et de la physique des particules.

Chaque particule est associée à une antiparticule qui ne diffère que par le signe de la charge, sauf pour les particules neutres l'antiparticule peut être identique à la particule, les lois qui régissent les interactions fondamentales ne distinguent pas entre particule-antiparticule, on peut penser alors qu'elles ont été produites en quantités égales au début de l'univers, autrement dit l'univers primordial était symétrique. Les différentes observations directes et indirectes n'ont pas prouvé l'existence d'antimatière dans notre univers actuel, il ne contient donc plus que de la matière et la plupart des théoriciens actuels recherchent des mécanismes qui permettent de générer un surplus de particules (baryons).

Selon la théorie du Big Bang, l'univers primitif était symétrique et le nombre baryonique était conservé, cet univers se dilate et se refroidit et sa densité diminue jusqu'à ce que sa température atteigne une valeur spécifique à laquelle différentes symétries sont brisées et l'équilibre thermique est rompu, la génération de nombre baryonique devient possible à ce

moment, en d'autres termes, dépend de la brisure et de la conservation du nombre baryonique dans les interactions des particules élémentaires.

Ainsi, il est clair qu'une telle asymétrie baryonique doit s'accompagner d'un mécanisme appelé baryogénèse qui est le scénario le plus prometteur de génération du nombre baryonique et doit répondre aux trois conditions formulées par Andrei Sakharov en 1967:

1) Il doit y avoir un processus fondamental provoquant la violation du nombre baryonique.

2) Ce processus doit violer C et CP.

3) Processus doit être hors équilibre thermique.

Pour la 1^{ère} condition si le nombre de baryons est conservé, c'est à-dire qu'il est nul au début et le restera pour toujours, mais s'il n'est soumis à aucune loi de conservation alors il est violé à l'état d'équilibre, pour la seconde condition, la violation de C et CP assure la prééminence de la matière sur l'antimatière puisque la conservation de C et CP conduirait à la création de la même quantité (matière-antimatière), il convient de noter que si les deux autres conditions sont satisfait aucune charge nette de baryon n'est alors générée.

Comme nous l'avons vu précédemment à l'équilibre thermique, le processus qui crée un excès de baryons est annulé par le processus inverse afin de préserver les baryons en excès qui sont les résultats de la violation de C et CP, ce processus doit sortir de l'équilibre thermique.

Kuz'min, Rubakov et Shaposhnikov ont proposé que l'asymétrie baryonique puisse être générée à des températures de l'ordre du TeV en se basant sur la théorie électrofaible (EW) qui contient toutes les ingrédients nécessaires de la baryogénèse: violation de la symétrie C et CP, nombre baryonique est violé à cause des anomalies chirales et la brisure de l'équilibre thermique lors de la transition de phase électrofaible du premier ordre qui correspond au passage d'une symétrie non brisée à une symétrie brisée. Malgré cela, la valeur calculée de l'asymétrie est trop faible et la théorie présente deux problèmes majeurs:

* La violation de CP est insuffisante parce que, dans la théorie électrofaible, la seule source de violation de CP est la phase complexe de la matrice de Cabbibo-Kobayashi-Maskawa (CKM) et sa valeur est trop petite pour rendre compte de l'asymétrie baryonique observée.

* La transition de phase électrofaible du premier ordre: pour créer le déséquilibre thermique nécessaire, la transition doit être du premier ordre, mais dans le cas du modèle standard (SM) la baryogénèse électrofaible (EWBG) associée à la masse de boson de Higgs qui doit prendre la valeur $m_H \leq 70$ GeV ceci est en contradiction avec la valeur expérimentale actuelle qui est d'environ 125 GeV alors la transition serait typiquement du second ordre et beaucoup plus douce.

L'efficacité de la baryogénèse électrofaible n'est évoquée qu'au voisinage de la température de transition de phase (température critique T_c), pour cette raison on peut dire que la baryogénèse électrofaible est dominée par la transition de phase du premier ordre qui est basée sur l'estimation de la hauteur de la barrière séparant la région de l'espace où la symétrie est brisée et la région où elle ne l'est pas, elle détermine ainsi la force de la transition de phase.

L'objet de ce travail étudier le problème de la baryogénèse électrofaible EWBG à basse énergie par la transition de phase électrofaible et nous avons également expliqué la baryogénèse par les sphalérons dans les trois modèles le modèle économique 331 avec neutrinos de chiralité droite (331 RHN), le modèle minimal 331 avec seulement deux triplets de Higgs (RM331) et le modèle compact 341.

Nous avons vu qu'actuellement dans le cadre du SM que les scénarios de baryogénèse à la transition de phase ne peuvent pas être réalisés et la raison principale de l'échec de la EWBG dans ce modèle est la faiblesse de la transition de phase, aussi le SM comporte plusieurs questions ouvertes qui n'ont pas été expliquées à son niveau, c'est ce qui a poussé les physiciens à proposer des modèles au-delà du SM. Tandis que nous étudions le spectre des particules dans les trois modèles mentionnés, ces modèles contiennent toutes les particules qui ont des masses lourdes par rapport aux masses de particules ordinaires, alors que les deux modèles (331 RHN, RM331) sont basés sur les mêmes groupes de jauge ou autrement dit la brisure spontanée de la symétrie se fait en deux étapes de transition de phase, la première à l'échelle de TeV et la seconde est la même du SM à l'échelle de GeV. Néanmoins, la brisure spontanée de la symétrie du modèle 341 se déroule en trois étapes et nous avons trois VeVs, les deux premières à l'échelle de TeV et la dernière $v_\rho=246$ GeV (du SM).

Grâce à l'expression du potentiel effectif qui est fonction des masses des particules et de la température, nous avons trouvé que la transition de phase électrofaible pour chaque étape (des trois modèles) est satisfaite lorsque la condition $(2E/\lambda)$ est remplie. En outre nous avons abordé le problème de la baryogénèse par l'approche des sphalérons où nous avons calculé le taux de sphaléron (Γ) puis l'avons comparé à la constante de Hubble (H) qui décrit l'expansion de notre univers à des températures T. Nous avons ensuite vu qu'il existe deux façons de calculer le taux de sphaléron, la première est l'approximation statique, il est noté que cette approche ne peut pas donner des résultats cohérents pour le rapport (Γ/H) dans le cas de $T < T_c$, par contre la deuxième approximation de la paroi mince le cela.

Enfin, nous avons pu comprendre et expliquer comment se produit la baryogénèse électrofaible et qu'elle est liée à la transition de phase électrofaible, cette dernière doit être forte et du premier ordre pour atteindre la troisième condition de Sakharov.

Mots-clés :

Baryogénèse, transition de phase électrofaible, au-delà du modèle standard, sphaléron et la violation du baryon.