العنوان: بعض النماذج خارج النموذج القياسي و مشكل تكوين الباريوجين.

ملخص

منذ فترة زمنية طويلة، حاول الفيزيائيون تفسير الظواهر الكونية و ذلك بطرح السؤال التالي: هل تغير كوننا مع مرور الزمن ؟ بتعبير أخر هل المكونات الأساسية للكون البدائي هي نفسها الموجودة في الكون الحالي؟

إن الجواب على هذا السؤال المهم متعلق بفرعين من الفيزياء هما علم الكون و فيزياء الجسيمات. النموذج الكوني الأكثر شيوعا هو النموذج القياسي لعلم الكون (أو نموذج الانفجار الأعظم) و الذي يرتكز على ثلاثة مبادئ أساسية:

1) صحة المبدأ الكوني القائل بان الكون متجانس و متناظر و قوانين الفيزياء هي نفسها في كل النقاط.

2) قوانين الفيزياء غير متغيرة مع الزمن.

3) الكون الحالي في تمدد و قد نشا في لحظة معينة من الماضي بسبب انفجار هائل هو الانفجار الأعظم.

تعطي نظرية الانفجار الأعظم تفسيرات لعدة ملاحظات حالية في كوننا كوفرة العناصر عن طريق التركيب النووي البدائي و تتنبأ بإشعاع الخلفية الكونية (CMB) ، لكن يبقى السؤال مطروح لماذا يبدو أن كوننا تهيمن عليه المادة تماما و يحتوي على عدد قليل جدا من الباريونات مقارنة بعدد الفوتونات بحيث أن الكثافة الباريونية في حدود 10^{-10}، يعد شرح الكثافة الباريونية المنخفضة أو فهم أصل عدم التناسق الباريوني احد أهم التحديات الحالية لفرعي الفيزياء المذكورين سابقا.

كل جسيمة لها جسيمة مضادة تختلف عنها بإشارة الشحنة باستثناء الجسيمات عديمة الشحنة فالجسيمة المضادة قد تكون نفسها الجسيمة، لا تميز القوانين التي تحكم التفاعلات الأساسية بين الجسيمة و مضادها إذ يمكننا التفكير بأنها أنتجت بكميات متساوية في بداية الكون أو بعبارة أخرى يمكن بان الكون البدائي كان متناظرا. إن الملاحظات المباشرة و غير المباشرة لكوننا الحالي لم تثبت وجود المادة المضادة فيه فهو بذلك يحتوي فقط على المادة و يتم البحث حاليا عن آليات تسمح بتوليد فائض من الجسيمات (الباريونات).

وفقا لنظرية الانفجار الأعظم، كان الكون البدائي متناظرا و عدد الباريونات كان محفوظا و بتمدد الكون يبرد و تنخفض كثافته إذ بوصول درجة حرارته إلى قيمة محددة تنكسر عندها مختلف التماثلات و

كذلك التوازن الحراري فأصبح توليد العدد الباريوني ممكنا في هذا الوقت أي انه يعتمد على كسر و حفظ العدد الباريوني في تفاعلات الجسيمات الأولية.

بالتالي، من الواضح أن عدم التناسق الباريوني يجب أن يكون مصحوبا بالية تدعى تكوين الباريوجين و هي السيناريو الواعد لتوليد العدد الباريوني و لابد أن تستوفي الشروط الثلاثة المصاغة من طرف اندريه ساخاروف عام 1967:

1) يجب أن تكون هناك عملية أساسية تسبب انتهاك العدد الباريوني.
2) يجب أن تنتهك هذه العملية التناظرات C و CP .
3) يجب أن تكون العملية خارج التوازن الحراري.

بالنسبة للشرط الأول إذا تم الاحتفاظ بعدد الباريونات أي انه صفر في البداية سيظل كذلك إلى الأبد و لكن إذا لم يكن خاضعا لأي قانون انحفاظ فانه ينتهك في حالة التوازن، بالنسبة للشرط الثاني يضمن انتهاك التناظرات C و CP تفوق المادة على المادة المضادة لان الحفاظ على هذه التناظرات سيؤدي إلى إنشاء نفس الكمية، تجدر الإشارة إلى انه إذا تم استيفاء الشرطين الآخرين فلن يتم توليد شحنة باريون صافية. كما رأينا سابقا في التوازن الحراري، يتم إلغاء العملية التي تخلق فائض الباريونات عن طريق العملية العكسية من اجل الحفاظ على الباريونات الزائدة التي تكون ناتجة عن انتهاك C و CP ، يجب أن تكون هذه العملية خارج التوازن الحراري.

اقترح Kuz'min، Rubakov و Shaposhnikov انه يمكن توليد عدم التماثل الباريوني عند درجات حرارة في حدود TeV بناءا على النظرية الكهروضعيفة (EW) التي تحتوي على جميع المكونات اللازمة لتكوين الباريوجين: انتهاك C و CP ، يتم انتهاك العدد الباريوني بسبب les anomalies chirales و كسر التوازن الحراري أثناء انتقال الطور الكهروضعيف من الدرجة الأولى المتوافقة مع الانتقال من التماثل غير المنقطع إلى التماثل المكسور و مع ذلك فالقيمة المحسوبة لعدم التماثل ضئيلة جدا و للنظرية الكهروضعيفة مشكلتان أساسيتان:

*إن انتهاك CP غير كاف لان له مصدر وحيد و هو الطور المركب من مصفوفة Cabbibo-Kobayashi-Maskawa (CKM) و قيمتها صغيرة جدا بحيث لا يمكن حساب عدم التماثل الباريوني الملاحظ.

*انتقال الطور الكهروضعيف من الدرجة الأولى: من اجل خلق عدم التوازن الحراري اللازم انتقال الطور لابد أن يكون من الدرجة الأولى لكن في حالة النموذج القياسي (SM) لفيزياء الجسيمات توليد الباريوجين الكهروضعيف (EWBG) متعلق بكتلة بوزون هيغز التي يجب أن تاخد القيمة $m_H \leq 70$ GeV و هذا ما يتعارض مع القيمة التجريبية الحالية التي تبلغ حوالي 125 GeV فيحدث عادة انتقال طور من الدرجة الثانية الذي يكون أكثر ليونة.

إن فعالية توليد الباريوجين الكهروضعيف تكون فقط بجوار درجة حرارة انتقال الطور (درجة الحرارة الحرجة T_c)، لهذا السبب يمكن القول أن توليد الباريوجين الكهروضعيف يتحكم فيه انتقال الطور من الدرجة الأولى و الذي يعتمد على تقدير ارتفاع الحاجز الفاصل بين منطقة الفضاء حيث تم كسر التماثل و منطقة الفضاء التي لم يكسر فيها التماثل إذن فهو يحدد قوة انتقال الطور.

الغرض من هذا العمل هو دراسة مشكل توليد الباريوجين الكهروضعيف عند الطاقة المنخفضة و ذلك عن طريق انتقال الطور الكهروضعيف و قد شرحنا أيضا تكوين الباريوجين بواسطة سفاليرون (sphaléron) في النماذج الثلاثة المدروسة: النموذج الاقتصادي 331 مع النيوترينوات اليمنى (331 RHN)، نموذج الحد الأدنى 331 (331 RM) و النموذج المدمج 341.

لقد رأينا انه حاليا في إطار النموذج القياسي SM لا يمكن تحقيق آليات تكوين الباريوجين بواسطة انتقال الطور و السبب الرئيسي لفشل EWBG في SM هو ضعف انتقال الطور الكهروضعيف، كذلك لدى النموذج القياسي العديد من الأسئلة المفتوحة التي لم تتم الإجابة عنها على مستواه، و هذا ما دفع الفيزيائيين لاقتراح نماذج خارج النموذج القياسي. عند دراسة طيف الجسيمات المكونة للنماذج الثلاثة المذكورة أعلاه رأينا أنها تحتوي على جسيمات لها كتل ثقيلة مقارنة بكتل الجسيمات العادية، في حين أن النموذجان (331RHN، RM331) يرتكزان على نفس مجموعات المقياس أو بعبارة أخرى يتم كسر التناظر التلقائي على مرحلتين انتقاليتين، الأولى عند TeV و الثانية نفسها للنموذج القياسي عند GeV، لكن بالنسبة للنموذج المدمج 341 يحدث الكسر التلقائي للتناظر على ثلاثة مراحل و لدينا ثلاثة قيم متوسطة الفراغ (VeVs)، الاثنين الأولين عند TeV و الأخيرة υ_ρ=246 GeV نفسها ل SM.

من خلال عبارة الكمون الفعال الذي يكتب بدلالة كتل الجسيمات و درجة الحرارة، وجدنا أن انتقال الطور الكهروضعيف لكل مرحلة (النماذج الثلاثة) يتحقق عند استيفاء الشرط ($2E/\lambda$). بالإضافة إلى ذلك، تطرقنا لتكوين الباريوجين من خلال سفاليرون حيث حسبنا معدل سفاليرون Γ و قارناه بثابت هابل H الذي يصف تمدد الكون درجات حرارة T. كما رأينا أن هناك طريقتين لحساب معدل سفاليرون، الأولى هي طريقة التقريب الثابت وهي لا تعطي نتائج مناسبة عند حساب النسبة (Γ/H) في حالة $T<T_c$ بينما الطريقة الثانية التي تدعى طريقة التقريب للجدار الرقيق تعطي نتائج جيدة.

أخيرا، تمكنا من فهم و شرح كيفية حدوث تكوين الباريوجين الكهروضعيف و انه مرتبط بانتقال الطور الكهروضعيف و الذي يجب أن يكون قويا و من الدرجة الأولى لتحقيق الشرط الثالث لساخاروف.

الكلمات المفتاحية:

تكوين الباريوجين, انتقال الطور الكهروضعيف, ما وراء النموذج القياسي, سفاليرون و انتهاك الباريون.