

Physique théorique des particules élémentaires

M. Jacques PRENTKI, professeur

Le cours de cette année a été consacré à la discussion du problème des interactions faibles dans le cadre du groupe SU_3 . Il constituait une continuation de celui de l'année dernière où les propriétés mathématiques du groupe avaient été examinées, et ses applications aux interactions fortes, moyennement fortes et électromagnétiques, présentées en grand détail. On avait vu que ce groupe fournit un ensemble de résultats tout à fait impressionnant concernant : la classification des particules, les formules de masses découlant d'une cassure très spécifique du groupe, le problème du mélange $\omega - \varphi$ et des mélanges dans les autres multiplets, les relations entre les taux de désintégrations des différentes particules dans les multiplets, etc. De même, il permet de traiter les interactions électromagnétiques d'une manière extrêmement élégante et, là aussi, il donne des formules de masse, des relations entre les taux de désintégrations électromagnétiques des différentes particules, des relations entre les moments magnétiques, ou plus généralement, les facteurs de forme, des prédictions sur la photoproduction, etc. L'impression qui s'en dégage est que l'application de SU_3 à ce genre de problèmes des particules élémentaires est un des succès majeurs de la physique de ces dernières années.

Il en est de même pour la théorie des interactions faibles. L'application de ce groupe à ces phénomènes a permis une synthèse tout à fait remarquable, tout au moins en ce qui concerne l'ensemble des processus semi-leptoniques. Les courants que l'on déduit d'une théorie des interactions fortes invariantes sous SU_3 et qui sont supposés être responsables des interactions faibles, obéissent quasi-automatiquement aux règles $\Delta S < 2$, $|\vec{I}| = 1$ pour les transitions $\Delta S = 0$ et $|\Delta \vec{I}| = 1/2$ (donc $\Delta S / \Delta Q = + 1$) pour $\Delta S = \pm 1$ qui sont les règles empiriques bien satisfaites. A partir de ces courants une théorie, avec un nombre très restreint de paramètres, peut être élaborée. Son pouvoir de prédiction est grand et elle conduit à un accord surprenant avec les résultats expérimentaux. Elle donne lieu à une définition de l'universalité des interactions faibles extrêmement séduisante et permet de généraliser l'hypothèse si fructueuse du courant vectoriel conservé. Le cas des courants

axiaux trouve aussi des solutions élégantes. Il n'est probablement pas exagéré de dire que le groupe SU_3 a permis de comprendre une bonne partie des phénomènes semi-leptoniques.

Le cas des interactions non leptoniques ne se traite pas d'une manière aussi satisfaisante. L'hypothèse courant-courant conduit aux difficultés bien connues dues à l'absence des courants neutres sans lesquels la règle $|\Delta \vec{I}| = 1/2$ non leptonique est difficile à comprendre. Cependant, là aussi, dans le cadre de SU_3 et moyennant certaines hypothèses, on peut construire des modèles ou des théories qui fournissent des résultats d'un intérêt certain, vérifiables expérimentalement. Il se pourrait aussi que les interactions moyennement fortes, électromagnétiques et faibles, aient leurs propres lois de conservation, et que le fait de ne pas observer ces lois dans les interactions faibles viendrait simplement d'un conflit de symétries plutôt que d'un manque de ces dernières. Les différentes interactions, du point de vue du groupe SU_3 , seraient donc décrites par des formalismes non sans une certaine parenté.

C'est une discussion détaillée de l'ensemble de ces problèmes théoriques et expérimentaux que nous avons abordée cette année.

Le programme en était le suivant :

1. — Rappel des propriétés fondamentales du groupe SU_3 et de ses applications aux interactions fortes, moyennement fortes et électromagnétiques. Les propriétés qui trouvent des applications directes dans la théorie des interactions faibles ont été particulièrement soulignées.

2. — Invariance sous un groupe et les courants vectoriels conservés. Relations entre courants conservés et les générateurs du groupe. Les courants pseudo-conservés.

3. — Discussion des faits expérimentaux importants concernant les désintégrations semi-leptoniques et leptoniques. Problème de l'universalité des interactions faibles. Théorie courant-courant en V-A.

4. — Discussion du concept de l'universalité et de l'hypothèse du courant vectoriel conservé (CVC) en relation avec le groupe d'invariance SU_2 du spin isotopique des interactions fortes. Analyse des processus $\Delta S = 0$. Succès, limitations et difficultés de cette théorie en relation avec l'universalité et les transitions $\Delta S = 1$.

5. — Hypothèse du courant axial partiellement conservé. Différents aspects de cette hypothèse. Formule de Goldberger-Treiman, interaction pseudo-scalaire induite, etc.

6. — Introduction de SU_3 dans la théorie des interactions faibles. Les huit courants vectoriels conservés. Nouvelle possibilité de définition de l'universalité englobant les processus $\Delta S = 0$ et $\Delta S = 1$. Nombres quantiques des courants et explication des règles phénoménologiques. Généralisation de l'hypothèse CVC aux courants $\Delta S = 1$. Problème du courant axial. Les courants sont tous dans la représentation 8. Rotation autour de l'axe 7 (ou axe 2 dans le spin U) afin d'obtenir les courants de Cabibbo.

7. — Théorie de Cabibbo. Définition de l'universalité et des angles θ_V et θ_A . Possibilité d'existence d'une loi de conservation dans une telle théorie, à savoir de Y' - étrangeté des interactions faibles avec $\Delta Y' = \pm 1$. Discussion de ce problème.

8. — Implications expérimentales de la théorie de Cabibbo. Désintégrations semi-leptoniques des bosons et des baryons étranges et non étranges. Comparaison détaillée avec les données. Détermination des angles θ_V et θ_A .

9. — Formules de Goldberger-Treiman généralisées. Relations entre les constantes de couplage des interactions fortes et faibles. Le problème des couplages F et D.

10. — Application de cette théorie aux réactions neutrinos. Les facteurs de forme, la production des résonances non étranges et étranges.

11. — Problème de la renormalisation des constantes de couplage des courants vectoriels conservés par les interactions moyennement fortes (et aussi électromagnétiques). Théorème de non renormalisation par les interactions conservant le groupe correspondant au courant conservé ; théorème de non renormalisation au 1^{er} ordre par les interactions cassant le groupe. Preuves par la méthode de Ademollo-Gatto et celle de Fubini-Furlan et Rossetti. Importance du dernier théorème pour la compréhension de la faible renormalisation des constantes du couplage vectoriel dans les interactions $\Delta S = 1$.

12. — Discussion de la situation expérimentale concernant les désintégrations non leptoniques des hadrons. Les règles phénoménologiques $\Delta S < 2$, $|\vec{I}| = 1/2$.

13. — Implications théoriques découlant de la validité de ces règles. Absence des courants neutres. Difficultés d'une théorie courant-courant avec uniquement des courants chargés.

14. — Le groupe du spin isotopique et les interactions non leptoniques. Introduction de SU_3 dans le problème.

15. — Discussion des différents schémas théoriques proposés :

a) Le Lagrangien des interactions faibles non leptoniques est dans la représentation régulière 8 de SU_3 . Rotation dans l'espace SU_3 . Problème des courants neutres.

b) Le Lagrangien est invariant sous un sous-groupe SU_2 , dit G, de SU_3 obtenu à partir du sous-groupe du spin isotopique par une rotation autour de l'axe 7. Propriétés du sous-groupe en question. Les règles $\Delta I = 1/2$ et $\Delta S < 2$. Description des désintégrations non leptoniques en fonction de lois de conservation du nouveau spin isotopique G et d'une étrangeté Y' . Le problème de la conservation de PC et quelques remarques à ce sujet.

c) Théorie du renforcement de l'octet basée sur l'hypothèse que n'interviennent que des courants chargés.

d) Théorie des « tadpoles » et ses difficultés.

16. — Discussion de certaines prédictions expérimentales de ces modèles qui permettront peut-être un jour de trancher entre les différentes possibilités présentes.

17. — Prédications expérimentales concernant les désintégrations non leptoniques des bosons découlant de l'hypothèse que le Lagrangien effectif, peu importe le modèle qui le fournit, est essentiellement dans la représentation régulière.

18. — Désintégration des baryons. Les ondes S et le triangle de Lee-Sugawara. Le problème des ondes P. Les différentes symétries supplémentaires possibles (R, RP, RC, etc.). Discussion des prédictions et comparaison détaillée avec les données expérimentales.

19. — Vue d'ensemble sur les différentes interactions des hadrons dans le cadre du groupe SU_3 . Essai d'une description unifiée. Les interactions cassant le groupe SU_3 auraient leur propre sous-groupe d'invariance SU_2 , les interactions moyennement fortes, celui du spin isotopique I, les interactions électromagnétiques, celui du spin U tourné de 120° par rapport à I, les interactions faibles, celui du spin G tourné par rapport à I d'un angle θ . Peut-on calculer cet angle ? Les avis divergent et aucun résultat satisfaisant n'a été obtenu. Chacune de ces interactions aurait, dans une telle perspective, ses propres lois de conservation. Les violations observées découleraient d'un conflit entre les différentes symétries.

20. — Discussion du rôle que joue SU_3 dans la physique des particules élémentaires. Remarques sur l'éventualité et la possibilité de généralisation d'une théorie au delà de SU_3 .

Le rôle important sinon prépondérant que joue, ces derniers temps, l'algèbre des courants nous a incité à organiser quelques séminaires à ce sujet. Quelques problèmes d'actualité ont été traités, à savoir : les désintégrations de la particule η et l'algèbre des courants ; un test de l'algèbre des courants par l'étude de l'interaction pion-nucléon ; l'algèbre des courants et la théorie des champs ; les règles de somme, l'algèbre des courants et la dynamique. Les orateurs ont été : le Professeur J. S. Bell (CERN), le Professeur D. Amati (CERN, Trieste), le Professeur Ph. Meyer (Orsay), le Professeur M. Lévy (Paris), et J. Prentki.

MISSIONS ET CONFÉRENCES

XIII International Conference on High Energy Physics, Berkeley, septembre 1966 (U.S.A.).

Membre du Comité d'Organisation de : *International Theoretical Physics Conference on Particles and Fields*, Rochester, août-septembre 1967 (U.S.A.).