

Cours 1988-1989

Structure des mésons

Les mésons se composent, on le sait, de partons – quarks et gluons – qui ne sont pas directement observables. Plus qu'ailleurs, dans le domaine de l'étude de la structure des mésons, l'observation et la théorie se soutiennent et se complètent mutuellement, et on ne pourrait rien dire de l'une sans l'autre, et inversement.

La théorie, c'est la Chromodynamique Quantique. On ne sait évidemment pas la résoudre, mais on peut commencer à raisonner avec, à partir de la propriété de *liberté asymptotique*, selon laquelle son couplage devient asymptotiquement nul à haute énergie. On pourra donc compter sur un calcul des perturbations raisonnable à haute énergies. Mais à l'inverse, à basse énergie, le couplage devient extrêmement fort, si bien qu'aucune approximation ne permet de faire de prédiction rigoureuse. A la limite statique (énergie nulle), la divergence infra-rouge du couplage entraîne le confinement des objets doués de couleur – notamment partons isolés.

Ce problème sera traité pour les quarks lourds par des potentiels non-relativistes appropriés. Pour les quarks légers ou les gluons, on fera usage de fonctions phénoménologiques appropriées : *facteurs de forme* pour les réactions élastiques, et *fonctions de structure* pour les processus inclusifs. A chaque réaction de haute énergie correspondra un comportement selon une puissance minimale de l'inverse du q^2 échangé (*leading twist*), ainsi que des corrections d'ordre plus élevé (*higher twist*), et qui correspondent notamment aux secteurs de la fonction d'onde comportant plus de partons que le strict minimum.

Pour mener ces calculs avec un minimum de cohérence, on utilise, après Brodsky et Lepage, une théorie des champs quantifiée sur un plan de genre lumière. Ceci détruit l'invariance relativiste formelle, mais, grâce à la conservation de $P^0 + P^3$ permet de donner un sens à peu près cohérent à la notion de nombre de composantes. Par exemple, grâce à cette conservation, il est aisé de voir que le vide perturbatif est le vrai vide de la théorie, ce qui n'est pas le cas dans la quantification à la Feynman.

Bien sûr, la théorie diverge toujours, et il est nécessaire de la régulariser. On se trouve donc face à trois échelles d'énergie : celle Q^2 des moments de transferts typiques de la réaction que l'on souhaite étudier, celle Λ^2 typique de la divergence infra-rouge, et enfin le cut-off A ultraviolet que l'on doit faire tendre vers l'infini dès la fin du calcul de perturbations. Le problème qui nous préoccupe ici est que la *fonction d'onde* elle-même va dépendre du choix de Q^2 et de Λ^2 . On ne peut donc pas parler en toute rigueur d'une fonction d'onde (de Fock, bien sûr), mais d'un ensemble de fonctions d'onde liées les unes aux autres par des contraintes. Par exemple, ce seront les équations d'Altarelli et Parisi qui décriront l'évolution des fonctions d'onde selon le choix de Q^2 .

En tenant compte de tous ces caveats, il est possible de formaliser l'étude des problèmes les plus simples, tels la désintégration du pion, et de retrouver des résultats conformes aux attentes, dans le cadre d'hypothèses tout à fait raisonnables. De même, les processus de diffusion, que ce soit inclusifs, semi-inclusifs ou exclusifs, montrent en gros un comportement raisonnable. Cependant, des problèmes liés à la divergence infra-rouge se montrent dans les extrémités de la fonction d'onde où la variable x de Feynman, qui caractérise la

fraction de moment longitudinal emportée par le parton, se trouve voisin de 0 (le parton est infrarouge) ou de 1 (il force tous les autres à $x \simeq 0$).

Des expériences, on peut maintenant extraire des facteurs de forme ou des fonctions de structure, moyennant toutes les précautions qui sont suggérées par les analyses qui précèdent. En fait, ce ne sont pas ces fonctions elle-mêmes qui sont extraites de l'expérience, mais un certain nombre de moments de la variable x . Il se pose le problème de savoir comment interpréter un nombre fini – et généralement petit – de moments d'une fonction inconnue. Ce problème est certes mal posé au sens mathématique, mais nous avons montré comment extraire méthodiquement de cette information une réponse raisonnable, notamment en ajoutant la condition supplémentaire, vraisemblable pour la fonction d'onde d'un méson non excité, qu'elle ne change pas de signe.

Ceci nous a permis d'interpréter certaines données expérimentales sur quelques moments de fonctions d'onde de mésons, et de montrer quelle genre de structure ils conduisaient à attribuer à ces mésons.