Théorie des champs sur le front de lumière. Application à la structure d'états liés relativistes

- Un peu d'histoire
- Théorie des champs sur le front de lumière
- Développements récents
- Perspectives

En collaboration avec V.A. Karmanov et A. Smirnov,
Institut Lebedev, Moscou

Un peu d'histoire

❑ Cinématique Diffusion Profondément Inélastique

$$q^+ = q^0 + q^3 \sim \nu$$

$$q^- = q^0 - q^3 \sim x_B$$

$x^+ \sim 1/x_B$ fini et $x^- \sim 1/\nu \rightarrow 0$

$$x^2 = 2\, x^+ x^- - x_t^2 = O(1/Q^2) \rightarrow 0$$

❑ Changement de référentiel le long de l'axe z

$$x^+ \rightarrow e^{\omega}\, x^+$$

$$x^- \rightarrow e^{-\omega}\, x^-$$ avec $\mathrm{th}\, \omega = v$

- ✓ les transformations de mélangent pas x^+ et x^- contrairement aux variables x et t
- ✓ le plan $x^+ = 0$ reste invariant
- ✓ le générateur du boost de Lorentz le long de z, dans ce choix de coordonnées, est « cinématique » c'est-à-dire ne dépend pas de l'interaction

❑ Fonction d'onde d'un système physique (état lié)

✓ **Fonction d'onde non-relativiste (état stationnaire)**

$\varphi(x,t) = \phi(x)\, e^{-iEt}$ → $\phi(x)$ définie en t=cte

- les rotations et les translations sont des opérateurs cinématiques (6 opérateurs)
- les boost de Lorentz et la translation dans le temps sont des opérateurs dynamiques (4 opérateurs)

✓ **Fonction d'onde définie sur le « front de lumière »**

$\varphi(x^-, x^+ = t^+)$ définie sur un plan t^+ = cte

- il y a 7 opérateurs « cinématiques » (avec le boost de Lorentz le long de z)
- les rotations sont des opérateurs « dynamiques »

Théorie des champs sur le front de lumière

❑ Structure du vide

Etats physiques définis par $P^2 \geq 0$ et $P^0 \geq 0$

- ✓ $P^0 \geq | P^3 |$ et $P^+ \geq 0$
- ✓ le vide est caractérisé par $P^+ = P^- = P_T = 0$
  et il est non-dégénéré
- ✓ il est donc « trivial »

❑ Décomposition en composantes de Fock

$$| \Phi > = | \Phi_1 > + | \Phi_2 > + | \Phi_3 > + \ldots + | \Phi_N >$$

- ✓ états à N particules
- ✓ troncation indispensable d'un point de vue pratique
- ✓ ce n'est pas un développement perturbatif

❑ Problèmes récurrents

- ➢ Brisure de l’invariance par rotation
- ➢ Traitement des brisures de symétrie
- ➢ Renormalisation
- ➢ Invariance de jauge

Développements récents

❑ Formulation covariante

➢ **les rotations sont des opérateurs « dynamiques »**

il faut connaître l'interaction pour définir la structure de la fonction d'onde d'un système de J donné

➢ **solution : position arbitraire du front de lumière**

$$\omega \,.\, x = 0 \quad \text{avec } \omega = (1,\vec{n}) \text{ et } \vec{n}^2 = 1$$

- l'opérateur de moment angulaire dépend très simplement de ω
- chaque observable physique ne doit pas dépendre de ω

(V. Karmanov et al.)

❑ Equation du mouvement

$$\hat{P}^2\, \phi(p) = M^2\, \phi(p) \qquad \textbf{avec} \qquad \hat{P}_\mu = \hat{P}^0_\mu + \hat{P}^{int}_\mu$$

$$\hat{P}^{int}_\mu = \omega_\mu \int H^{int}(x)\delta(\omega{\cdot}x)\, d^4x = \omega_\mu \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{H}^{int}(\omega\tau)\frac{d\tau}{2\pi}$$

$$k_1 + k_2 + \cdots + k_n = p + \omega\tau\ .$$

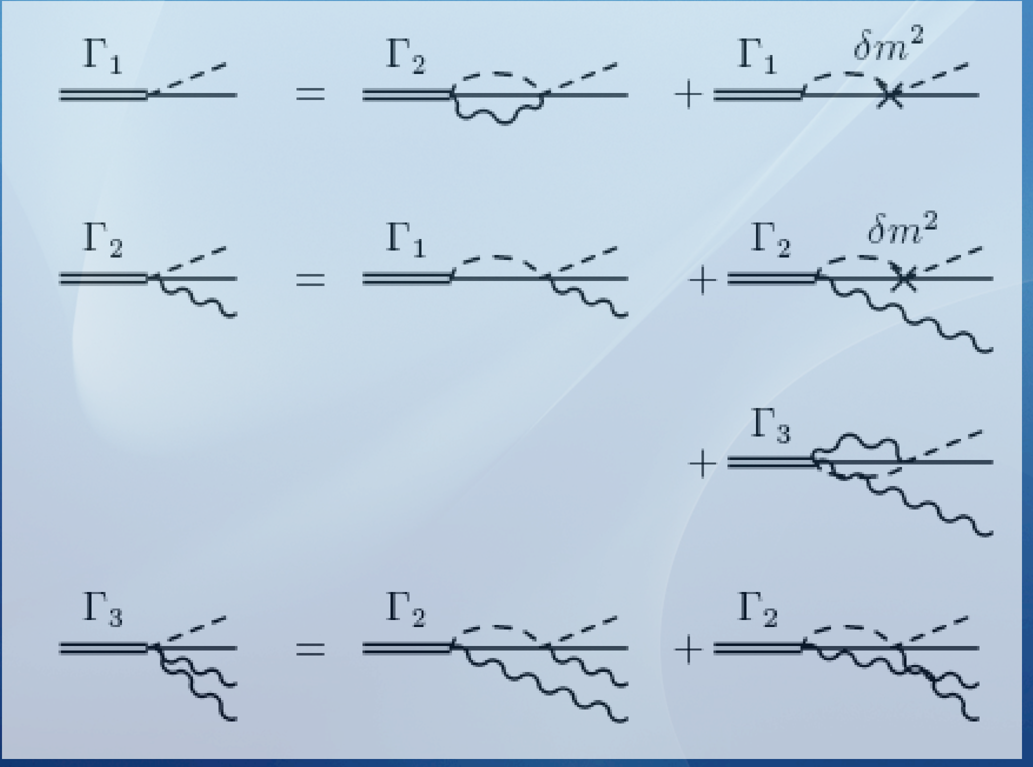
$$\frac{1}{2\pi}\int \tilde{H}^{int}(\omega\tau)\frac{d\tau}{\tau}\mathcal{G}(p) = -\mathcal{G}(p) \equiv -\lambda(M^2)\mathcal{G}(p)$$

avec

$$\mathcal{G}(p) = 2(\omega{\cdot}p)\hat{\tau}\phi(p)$$

❑ Exemple pour un modèle scalaire

- $H_{int} = - g\, \Psi^2(x)\, \varphi(x) - \delta m^2\, \Psi^2(x)$
- Composantes de Fock B + Bb + Bbb
- Equation du mouvement



avec $$\Gamma_i = 2(\omega\cdot p)\,\tau\,\phi_i = (s - M^2)\phi_i$$

❑ Brisure spontanée de symétrie

- le vide de la théorie est trivial
- mais chaque champ élémentaire acquiert une composante constante (« mode zéro »)

$\Phi(x^-) = \varphi_0 + \varphi(x^-)$ à « temps » $x^+ = 0$

Secteur des « particules »

Secteur du « vide »

avec $< 0 \mid \Phi \mid 0 > = \varphi_0$

(E. Werner et al.)

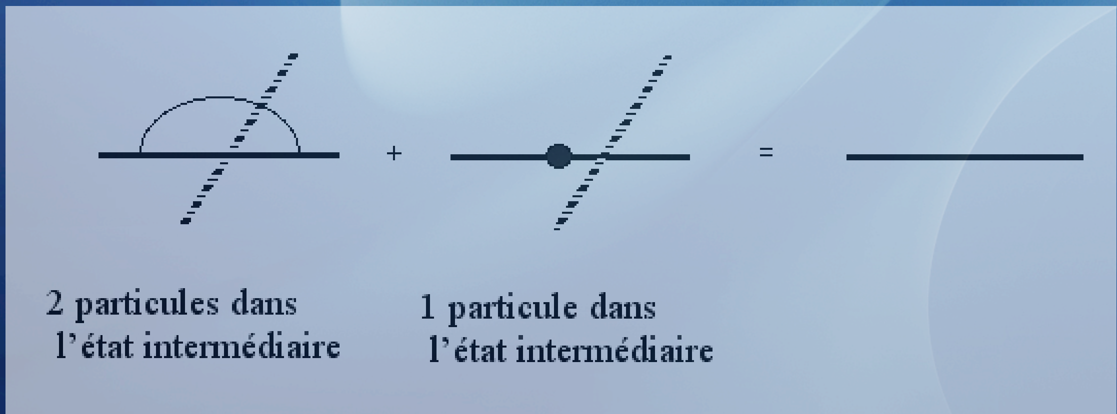
❑ Stratégie pour la renormalisation

➢ approche traditionnelle

$$L \rightarrow L + L_{CT}$$

et les contretermes sont fixés par des conditions physiques sur la masse, la charge,…

➢ que se passe-t'il dans un espace de Fock tronqué?



dans une approche perturbative

↪ connexion d'une composante de Fock à une autre

↪ les contretermes doivent dépendre du nombre de composante de Fock $\delta m^{(n)}$ pour que la procédure de renormalisation reste interne à l'espace de Fock

↪ stratégie pour calculer de façon systématique, et successivement

$\delta m^{(1)}$, $\delta m^{(2)}$, $\delta m^{(3)}$,…

(J.-F. M. et al.)

↪ procédure de régularisation qui conserve les bonnes propriétés de causalité

(P. Grangé et al.)

Perspectives

- ❑ **Systèmes déjà considérés**
  - ✓ Φ^4_{1+1} sur le front de lumière et brisure spontanée de symétrie
  - ✓ système scalaire à 3+1 dimension à l'ordre 3 particules (au delà du résultat perturbatif)
  - ✓ modèle de Yukawa, QED à l'ordre 2 particules (équivalent au résultat perturbatif)
- ❑ **On peut commencer à aborder des systèmes plus réalistes**
  - ✓ QED à l'ordre 3 particules (au delà du résultat perturbatif)
    ↳ correction non-perturbative au moment magnétique anormal de l'électron
- ❑ **Stratégie systématique pour résoudre les systèmes liés**
  ↳ une formulation cohérente et systématique pour étudier les états liés relativistes en physique nucléaire et des particules